



TESIS - RC185401

**EFEKTIVITAS *VACUUM PRELOADING* DALAM  
MENGHILANGKAN PEMAMPATAN SEKUNDER  
PADA PROYEK PEMBANGUNAN KAWASAN KOTA  
SUMMARECON BANDUNG**

AZMI LISANI WAHYU  
NRP. 03111650010009

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



TESIS - RC185401

**EFEKTIVITAS *VACUUM PRELOADING* DALAM  
MENGHILANGKAN PEMAMPATAN SEKUNDER  
PADA PROYEK PEMBANGUNAN KAWASAN KOTA  
SUMMARECON BANDUNG**

AZMI LISANI WAHYU  
NRP. 03111650010009

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



THESIS - RC185401

**THE EFFECTIVENESS OF VACUUM PRELOADING  
ON ELIMINATE SECONDARY SETTLEMENT; CASE  
STUDY IN SUMMARECON CITY BANDUNG AREA'S  
DEVELOPMENT PROJECT**

AZMI LISANI WAHYU  
NRP. 03111650010009

SUPERVISOR

Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

POST GRADUATE PROGRAM  
MASTER PROGRAM OF GEOTECHNIC  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENTAL, AND GEO ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Teknik (M.T.)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

oleh:

**Azmi Lisani Wahyu**

NRP. 03111650010009

Tanggal Ujian : 11 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

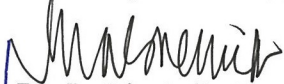
Disetujui oleh:



1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing)

NIP: 195304081976031002



2. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng.

(Penguji)

NIP: 195601191986012001



3. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.

(Penguji)

NIP: 195010111982031002



4. Ridho Bayuaji, S.T., M.T., Ph.D.

(Penguji)

NIP: 197307101998021002



5. Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

(Penguji)

NIP: 197701222005012002



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan,

  
IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 197502121999032001



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# EFEKTIVITAS *VACUUM PRELOADING* DALAM MENGHILANGKAN PEMAMPATAN SEKUNDER PADA PROYEK PEMBANGUNAN KAWASAN KOTA SUMMARECON BANDUNG

Nama Mahasiswa : Azmi Lisani Wahyu  
NRP : 03111650010009  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

## ABSTRAK

Pemampatan sekunder pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung perlu dihilangkan bersamaan dengan pemampatan primer menggunakan metode *preloading*; *embankment* dan *vacuum preloading*. Dengan metode *embankment preloading*, perlu diketahui tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang harus ditambahkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Berbeda dengan metode *vacuum preloading* yang menggunakan tekanan atmosfer sebagai beban tambahan (*surcharge load*) yang bisa menyebabkan pemampatan tanah lebih besar lagi yang diharapkan juga mencakup pemampatan sekunder. Hal ini yang mendasari bahwa metode *vacuum preloading* diperkirakan lebih efektif daripada metode *embankment preloading* dalam menghilangkan pemampatan sekunder. Selain itu, metode *vacuum preloading* umumnya hanya membutuhkan material timbunan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*), sehingga kebutuhan material timbunan pada *vacuum preloading* tidak sebanyak kebutuhan material timbunan pada *embankment preloading*.

Studi dalam tesis ini meliputi perhitungan tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder dengan waktu tinjau 20 tahun menggunakan metode *embankment preloading* yang nantinya akan dibandingkan dengan metode *vacuum preloading* beserta dengan estimasi biaya masing-masing metode. Sebelumnya, dilakukan pula studi mengenai korelasi parameter-parameter tanah yang dibutuhkan untuk menghitung pemampatan sekunder, yaitu korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) dalam rangka membuat perumusan indeks pemampatan sekunder. Parameter-parameter tanah tersebut diperoleh dari uji laboratorium menggunakan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) yang diambil dari area sekitar proyek.

Berdasarkan hasil analisis, korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) tanah pada proyek ini belum cukup kuat. Hal ini dibuktikan dengan nilai rata-rata koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,3319 dan koefisien korelasi ( $R$ ) sebesar 0,576. Pemampatan tanah total (primer dan sekunder) yang terjadi pada proyek ini cukup besar, yaitu 2,9 m. Pada metode *embankment preloading*, beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder sebesar  $1,508 \text{ t/m}^2$  yang ekuivalen dengan tinggi timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) setinggi 0,9 m. Dengan adanya beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) tersebut, tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) yang harus ditimbun adalah setinggi 7,2 m. Sementara itu, akibat

pemampatan tanah total yang besar, metode *vacuum preloading* membutuhkan material timbunan yang banyak untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*). Metode tersebut membutuhkan timbunan tanah total setinggi 5,8 m, di mana hanya berbeda 1,4 m dengan kebutuhan material timbunan tanah pada *embankment preloading*, namun metode *vacuum preloading* menjadi satu-satunya cara yang paling efektif untuk menghilangkan pemampatan sekunder bersamaan dengan pemampatan primer. Apabila dilihat dari estimasi biaya, *vacuum preloading* memiliki estimasi biaya yang lebih rendah, yaitu mencapai 10,5 miliar rupiah dibandingkan dengan metode *embankment preloading* yang mencapai 11,5 miliar rupiah.

Kata kunci: *embankment preloading*, *vacuum preloading*, pemampatan primer, pemampatan sekunder

# **THE EFFECTIVENESS OF VACUUM PRELOADING ON ELIMINATE SECONDARY SETTLEMENT; CASE STUDY IN SUMMARECON CITY BANDUNG AREA'S DEVELOPMENT PROJECT**

By : Azmi Lisani Wahyu  
Student Identity Number : 03111650010009  
Supervisor : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Secondary settlement in Summarecon City Bandung Area's Development Project needs to be eliminated along with primary settlement using the preloading method; embankment and vacuum preloading. With embankment preloading method, it is necessary to know the height of the additional embankment ( $H_{\Delta q}$ ) which must be added to eliminate secondary settlement. Unlike vacuum preloading method that uses atmospheric pressure as a surcharge load which can cause more soil settlement which is expected to include of secondary settlement. This underlies that vacuum preloading method is estimated to be more effective than embankment preloading method on eliminate secondary settlement. In addition, vacuum preloading method generally only requires embankment materials to reach the planned final elevation (levelling), so that the needs of embankment materials in vacuum preloading is not as much as embankment materials requirement in embankment preloading.

The study in this thesis includes the calculation of the height of the additional embankment ( $H_{\Delta q}$ ) that needed to eliminate secondary settlement with a review time of 20 years using embankment preloading method which will be compared with vacuum preloading method along with the estimated cost of each method. This thesis also includes the study about the correlation of soil parameters that needed to calculate secondary settlement, which is the correlation between secondary settlement index ( $C'_a$ ) with pore number ( $e$ ) and effective consolidation pressure ( $P'$ ) in order to formulate a secondary settlement index. These soil parameters were obtained from laboratory tests using undisturbed samples that taken from the area around the project.

Based on the results of the analysis, the correlation between secondary settlement index ( $C'_a$ ) with pore number ( $e$ ) and effective consolidation pressure ( $P'$ ) of the soil in this project is not yet strong enough. This is evidenced by the average value of the coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0,3319 and the coefficient of correlation ( $R$ ) of 0,576. The total settlement (primary and secondary) that occurs in this project is quite large, which is 2,9 m. In embankment preloading method, the additional load of embankment ( $\Delta q$ ) that needed to eliminate secondary settlement is 1,508 t/m<sup>2</sup> which is equivalent to the height of the embankment ( $H_{\Delta q}$ ) as high as 0,9 m. With the additional load ( $\Delta q$ ), the initial height of the embankment ( $H_i$ ) that must be placed is 7,2 m. Meanwhile, due to the large settlement of the soil, vacuum preloading method requires a lot of embankment materials to reach the planned final elevation (levelling). This

method requires total embankment materials of 5,8 m, which only differs about 1,4 m with the needs of embankment materials in embankment preloading, but the vacuum preloading method is the single most effective way to eliminate secondary settlement along with primary settlement. If viewed from the estimated cost, vacuum preloading has lower estimated cost, which reaches 10,5 billion rupiahs, while embankment preloading method reaches 11,5 billion rupiahs.

Key words: embankment preloading, vacuum preloading, primary settlement, secondary settlement

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis “*Efektivitas Vacuum Preloading dalam Menghilangkan Pemampatan Sekunder pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung*” dengan lancar. Tesis ini diajukan sebagai syarat untuk mendapat gelar magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penyusunan tesis di antaranya adalah:

1. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan.
2. Dosen-dosen bidang geoteknik yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan mengenai geoteknik yang menunjang penyusunan tesis ini.
3. PT Teknindo Geosistem Unggul, atas izin yang diberikan untuk memperoleh data-data Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung dan PT Sho-Labo, atas bantuannya dalam melaksanakan uji lapangan.
4. Bapak yang sudah memilihkan proyek untuk dijadikan tesis semaksimal dan selengkap mungkin, membagikan ilmu geoteknik, dan memberikan solusi yang terbaik, serta Ibu yang terus menyemangati dan berdoa demi terselesaikannya tesis ini.
5. Oga yang terus sabar menyemangati, menemani, membantu, dan mendengar keluh kesah saat mengerjakan tesis.
6. Bapak-bapak Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan yang turut membantu dalam melaksanakan uji laboratorium.
7. Teman-teman Geoteknik 2016 yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan.

Dalam penyusunan tesis, mungkin terdapat kekurangan yang dibuat oleh penulis. Untuk itu, kritik dan saran akan sangat membantu dalam menyempurnakan tesis. Semoga tesis ini dapat berguna, bermanfaat, serta menambah wawasan dan pengetahuan.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>		<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>		<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>		<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>		<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>		<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>		<b>xvii</b>
<b>BAB 1</b>	<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
	1.1. Latar Belakang.....	1
	1.2. Perumusan Masalah.....	10
	1.3. Tujuan .....	10
	1.4. Manfaat.....	11
<b>BAB 2</b>	<b>KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>13</b>
	2.1. Tanah Lempung Lunak.....	13
	2.2. Perbaikan Tanah Dasar .....	14
	2.2.1. Konsistensi Tanah Berdasarkan Harga c <sub>u</sub> dan SPT .....	14
	2.2.2. Metode Perbaikan Tanah Dasar .....	14
	2.2.3. Metode Perbaikan Tanah Dasar dengan Pra Pembebanan ( <i>Preloading</i> ).....	15
	2.3. Metode <i>Embankment Preloading</i> .....	16
	2.4. Metode <i>Vacuum Preloading</i> .....	16
	2.4.1. Sistem Instalasi <i>Vacuum Preloading</i> Menggunakan Lapisan Kedap ( <i>Geomembrane</i> ) ....	19
	2.4.2. Sistem Instalasi <i>Vacuum Preloading</i> Tanpa Menggunakan Lapisan Kedap ( <i>Geomembrane</i> ) ....	20
	2.4.3. Prinsip <i>Vacuum Preloading</i> .....	21
	2.4.4. Keunggulan dan Kelemahan <i>Vacuum</i> <i>Preloading</i> .....	23
	2.5. Kemampumampatan Tanah.....	23



2.5.1.	Pemampatan Primer.....	24
2.5.2.	Pemampatan Sekunder .....	26
2.5.3.	Waktu Konsolidasi Tanah Lempung Lunak Alami .....	27
2.6.	Hubungan antara Tinggi Timbunan dan Penurunan .....	28
2.7.	<i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD) .....	29
2.7.1.	Cara Kerja PVD.....	31
2.7.2.	Diameter Ekvivalen PVD ( $d_w$ ).....	31
2.7.3.	Fungsi PVD .....	33
2.7.4.	Pola Pemasangan PVD .....	33
2.7.5.	Waktu Konsolidasi dengan PVD .....	34
<b>BAB 3</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
3.1.	Diagram Alir Penyelesaian Tesis.....	37
3.2.	Metode Penelitian .....	37
3.2.1.	Studi Literatur .....	37
3.2.2.	Uji Lapangan .....	38
3.2.3.	Uji Kekuatan Tanah.....	38
3.2.4.	Uji Fisik Tanah .....	38
3.2.5.	Uji Konsolidasi Tanah .....	39
3.2.6.	Analisis Hasil Uji Laboratorium.....	39
3.2.7.	Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode <i>Embankment Preloading</i> ..	40
3.2.8.	Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode <i>Vacuum Preloading</i> .....	41
3.2.9.	Perencanaan PVD .....	41
3.2.10.	Perhitungan Estimasi Biaya Metode <i>Embankment Preloading</i> dan <i>Vacuum Preloading</i> .....	41
3.2.11.	Kesimpulan dan Saran .....	42
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
4.1.	Hasil Uji Lapangan .....	43
4.2.	Hasil Uji Laboratorium .....	44
4.3.	Analisis Hasil Uji Laboratorium .....	46

4.4.	Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode <i>Embankment Preloading</i> .....	55
4.4.1.	Perhitungan Tinggi Tambahan Timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang Dibutuhkan untuk Menghilangkan Pemampatan Sekunder .....	58
4.5.	Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode <i>Vacuum Preloading</i> .....	63
4.6.	Perencanaan PVD .....	66
4.7.	Perhitungan Estimasi Biaya Metode <i>Embankment Preloading</i> dan <i>Vacuum Preloading</i> .....	68
4.8.	Pembahasan .....	71
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>75</b>
5.1.	Kesimpulan .....	75
5.2.	Saran .....	76
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>79</b>
	<b>LAMPIRAN 1 HASIL UJI LAPANGAN .....</b>	<b>83</b>
	<b>LAMPIRAN 2 HASIL UJI FISIK TANAH .....</b>	<b>93</b>
	<b>LAMPIRAN 3 HASIL UJI KONSOLIDASI TANAH .....</b>	<b>95</b>
	<b>LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN PEMAMPATAN TANAH .....</b>	<b>109</b>
	<b>LAMPIRAN 5 PERHITUNGAN PVD .....</b>	<b>117</b>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Pergerakan Lateral Tanah pada Metode <i>Embankment Preloading</i> dan <i>Vacuum Preloading</i> (Chai et al., 2005).....	2
Gambar 1.2	Denah Area Perbaikan Tanah Dasar (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017) .....	3
Gambar 1.3	Detail Area <i>Cluster</i> Dyanti (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017) .....	4
Gambar 1.4	Denah Lokasi Letak Alat Instrumen Geoteknik (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017) .....	5
Gambar 1.5	Potongan Melintang Denah Lokasi Letak Alat Instrumen Geoteknik (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017) .....	5
Gambar 1.6	Metode <i>Vacuum Preloading</i> pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017) .....	6
Gambar 1.7	Grafik Hubungan Pemampatan Primer dan Total dengan Beban Timbunan .....	8
Gambar 2.1	Analogi Pegas untuk Proses Konsolidasi dengan Menggunakan Beban Timbunan Tanah (Kiri) dan Beban <i>Vacuum</i> (Kanan) (Chu dan Yan, 2005).....	17
Gambar 2.2	Proses Konsolidasi dengan <i>Embankment Preloading</i> (Kiri) dan <i>Vacuum Preloading</i> (Kanan) (Indraratna et al., 2005).....	19
Gambar 2.3	Sistem <i>Vacuum Preloading</i> Tanpa Menggunakan Lapisan Kedap ( <i>Geomembrane</i> ) (Seah, 2006).....	20
Gambar 2.4	Perbedaan Sistem <i>Vacuum Preloading</i> dengan Menggunakan Lapisan Kedap ( <i>Geomembrane</i> ) (Kiri) dan Tanpa Menggunakan Lapisan Kedap ( <i>Geomembrane</i> ) (Kanan) (Indraratna et al., 2005).....	21
Gambar 2.5	Prinsip <i>Vacuum Preloading</i> (Gouw, 2012).....	22
Gambar 2.6	Skema Kombinasi Metode <i>Vacuum Preloading</i> dengan <i>Embankment Preloading</i> (Mohamedelhassan dan Shang,	

	2002).....	22
Gambar 2.7	Grafik Waktu Pemampatan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penambahan Beban (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015).....	24
Gambar 2.8	Grafik <i>Influence Factor</i> (NAVFAC DM-7, 1970).....	26
Gambar 2.9	Grafik Hubungan antara <i>Void Ratio</i> dan Waktu Pemampatan (Mesri, 1973).....	27
Gambar 2.10	Konsolidasi Tanah Lempung Lunak Alami.....	28
Gambar 2.11	Kedudukan Timbunan saat Mengalami Penurunan (Mochtar, 2000).....	28
Gambar 2.12	<i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD) (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015).....	30
Gambar 2.13	Cara Kerja <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD) (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015).....	31
Gambar 2.14	Diameter Ekuivalen PVD ( $d_w$ ) (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004).....	32
Gambar 2.15	Grafik Waktu Konsolidasi vs <i>Settlement</i> (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015).....	33
Gambar 2.16	Pola Pemasangan PVD (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004).....	34
Gambar 2.17	Konsolidasi dengan Menggunakan PVD.....	35
Gambar 3.1	Diagram Alir Penyelesaian Tesis .....	37
Gambar 3.2	Penambahan Beban Timbunan ( $\Delta q$ ) untuk Menghilangkan Pemampatan Sekunder .....	40
Gambar 4.1	Denah Lokasi Titik-Titik Uji Lapangan .....	43
Gambar 4.2	Korelasi antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Eksponensial.....	47
Gambar 4.3	Korelasi antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Linier .....	48
Gambar 4.4	Korelasi antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Logaritmik .....	48
Gambar 4.5	Korelasi antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ )	

	dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Eksponensial .....	48
Gambar 4.6	Korelasi antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Linier.....	49
Gambar 4.7	Korelasi antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Logaritmik .....	49
Gambar 4.8	Korelasi Baru antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Eksponensial .....	50
Gambar 4.9	Korelasi Baru antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Linier.....	51
Gambar 4.10	Korelasi Baru antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Logaritmik .....	51
Gambar 4.11	Korelasi Baru antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Eksponensial .....	51
Gambar 4.12	Korelasi Baru antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Linier .....	52
Gambar 4.13	Korelasi Baru antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan $C'_\alpha/P'$ Regresi Logaritmik.....	52
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Nilai Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_\alpha$ ) Hasil dari Uji Laboratorium dengan Hasil Regresi.....	54
Gambar 4.15	Grafik Hubungan antara Pemampatan Primer ( $S_c$ ) dengan Beban Timbunan ( $q$ ) .....	57
Gambar 4.16	Grafik Hubungan antara Beban Timbunan ( $q$ ) dengan Tinggi Awal Timbunan ( $H_i$ ) .....	57
Gambar 4.17	Grafik Hubungan antara Tinggi Awal Timbunan ( $H_i$ ) dengan Tinggi Akhir Timbunan ( $H_f$ ).....	57
Gambar 4.18	Grafik Hubungan antara Pemampatan Tanah ( $S$ ) dengan Beban Timbunan ( $q$ ) .....	60
Gambar 4.19	Grafik Hubungan antara Tinggi Akhir Timbunan Lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) dengan Tinggi Awal Timbunan Baru ( $H_{i(p+s)}$ ) .....	61
Gambar 4.20	Grafik Hubungan antara Tinggi Awal Timbunan Baru ( $H_{i(p+s)}$ ) dengan Pemampatan Tanah Total ( $S_t$ ) .....	61

Gambar 4.21	Grafik Waktu Konsolidasi ( $t$ ) dengan Derajat Konsolidasi ( $U_v$ ) Tanpa PVD .....	67
Gambar 4.22	Grafik Waktu Konsolidasi ( $t$ ) dengan Derajat Konsolidasi ( $U_r$ ) PVD Pola Segitiga .....	67
Gambar 4.23	Grafik Waktu Konsolidasi ( $t$ ) dengan Derajat Konsolidasi ( $U_r$ ) PVD Pola Segiempat .....	68
Gambar 4.24	Retak di sekitar Area Perbaikan Tanah Dasar dengan <i>Vacuum Preloading</i> pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung.....	73
Gambar 4.25	Detail Retak di sekitar Area Perbaikan Tanah Dasar dengan <i>Vacuum Preloading</i> pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung.....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konsistensi Tanah Menurut Harga $c_u$ dan SPT.....	14
Tabel 4.1a	Hasil Uji Laboratorium .....	44
Tabel 4.1b	Hasil Uji <i>Atterberg Limit</i> .....	45
Tabel 4.2	Korelasi antara Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_\alpha$ ), Angka Pori ( $e$ ), dan Tegangan Konsolidasi Efektif ( $P'$ ).....	49
Tabel 4.3	Korelasi Baru antara Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_\alpha$ ), Angka Pori ( $e$ ), dan Tegangan Konsolidasi Efektif ( $P'$ ).....	52
Tabel 4.4	Perbandingan Nilai Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_\alpha$ ) Hasil dari Uji Laboratorium dengan Hasil Regresi .....	53
Tabel 4.5	Rekap Perhitungan Pemampatan Primer ( $S_c$ ), Tinggi Awal Timbunan ( $H_i$ ) dan Akhir Timbunan ( $H_f$ ) akibat Pemampatan Primer, serta Pemampatan Sekunder ( $S_s$ ) .....	56
Tabel 4.6	Rekap Perhitungan Tinggi Awal Timbunan Baru ( $H_{i(p+s)}$ ) dan Akhir Timbunan Baru ( $H_{f(p+s)}$ ) akibat Pemampatan Primer dan Sekunder, serta Tinggi Akhir Timbunan Lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) .....	60
Tabel 4.7	Rekap Perhitungan Pemampatan Total ( $S_t$ ) dan Tinggi Sisa Timbunan ( $H_{sisa}$ ) Tiap Tahapan Penimbunan.....	66
Tabel 4.8	Estimasi Biaya Metode <i>Embankment Preloading</i> .....	69
Tabel 4.9	Estimasi Biaya Metode <i>Vacuum Preloading</i> .....	69



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# BAB 1

## PENDAHULUAN

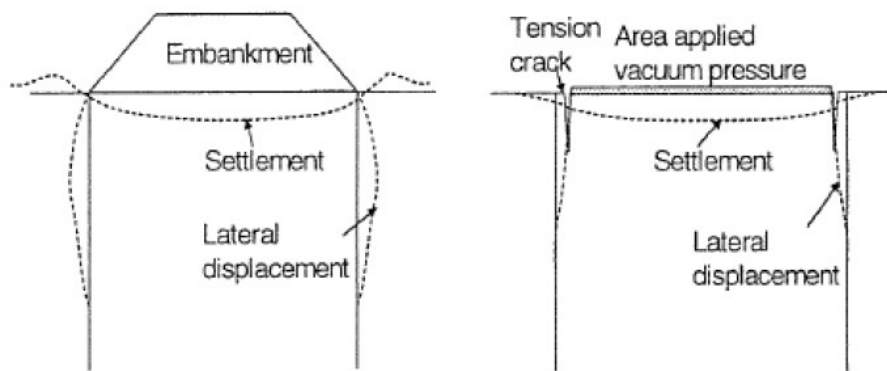
### 1.1. Latar Belakang

Sekitar 20 juta hektar atau lebih dari 10% dari luas daratan di Indonesia merupakan tanah lunak yang terdiri dari tanah lempung lunak (*soft clay*) dan tanah gambut (*peat soil*). Untuk pengembangan prasarana wilayah di Indonesia, tidak menutup kemungkinan infrastruktur harus dibangun pada daerah-daerah yang kondisi lapisan tanah dasarnya berupa tanah lempung lunak. Masalah utama pada tanah lempung lunak adalah tanah tersebut memiliki daya dukung yang rendah, sehingga beban yang mampu dipikul tanah dasar menjadi terbatas, dan pemampatan tanah yang relatif besar, serta membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan tanah dasar agar infrastruktur tidak rusak sebelum umur yang direncanakan.

Perbaikan tanah dasar yang cocok untuk tanah lempung lunak adalah metode pra pembebanan (*preloading*). Metode pra pembebanan (*preloading*) di antaranya adalah *embankment preloading* dan *vacuum preloading*. Metode *embankment preloading* dan *vacuum preloading* pada prinsipnya sama, yaitu menghilangkan seluruh atau sebagian besar pemampatan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah dengan cara memberikan beban awal yang lebih besar atau sama dengan beban infrastruktur yang direncanakan. Untuk mempercepat waktu pemampatan tanah, kedua metode tersebut biasanya dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Metode *embankment preloading* dilakukan dengan membebani tanah dengan beban timbunan tanah, sedangkan metode *vacuum preloading* dilakukan dengan melakukan pemompaan *vacuum* dari lapisan tanah di bawah lapisan membran tipis yang kedap air, sehingga tegangan air pori di dalam tanah dapat dibuat negatif (Holtz dan Wager, 1975; Pilot, 1977). Metode *vacuum preloading* mempunyai kelebihan karena metode ini tidak didapati masalah stabilitas timbunan tanah dan tidak membutuhkan material timbunan tanah yang banyak seperti pada metode *embankment preloading*. Metode *vacuum preloading* terbukti mampu meningkatkan kuat geser tanah

hingga 2-3 kali dan kadar air tanah menurun jauh (Chu et al., 2000), tetapi metode *vacuum preloading* ini lebih sulit pelaksanaannya, serta aplikasinya masih terbatas di Indonesia.

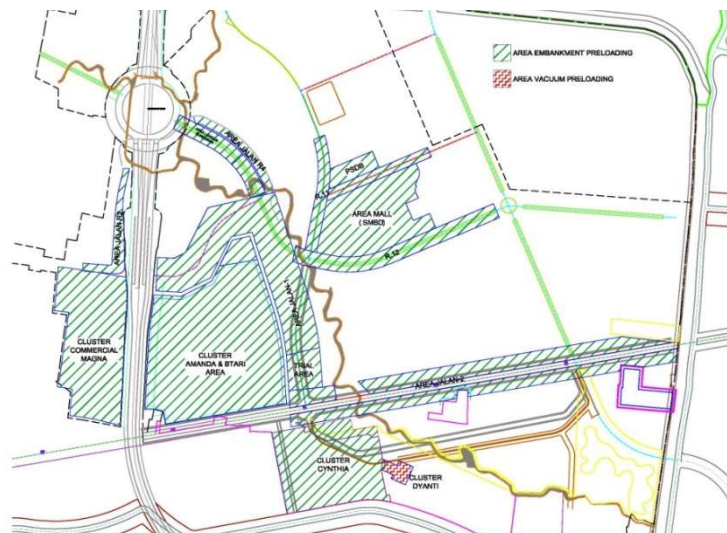
Metode *embankment preloading* dan *vacuum preloading* tidak hanya menyebabkan pemampatan tanah saja, tetapi umumnya juga menyebabkan pergerakan lateral tanah. Pada metode *embankment preloading*, pergerakan lateral tanah disebabkan oleh tegangan geser yang timbul akibat beban timbunan tanah dan apabila tegangan geser cukup besar, dapat menyebabkan keruntuhan (*sliding*). Sebaliknya, pada metode *vacuum preloading*, menerapkan tekanan isotropik pada tanah. Tekanan isotropik akan menyebabkan pemampatan dan pergerakan lateral tanah. Pergerakan lateral tanah pada metode *vacuum preloading* dapat menyebabkan permukaan di sekitar area perbaikan tanah menjadi retak dan mengalami penurunan, namun biasanya tidak ada kemungkinan keruntuhan (*sliding*) (Chai et al., 2005). Ilustrasi pergerakan lateral tanah pada metode *embankment preloading* dan *vacuum preloading* dapat dilihat pada Gambar 1.1.



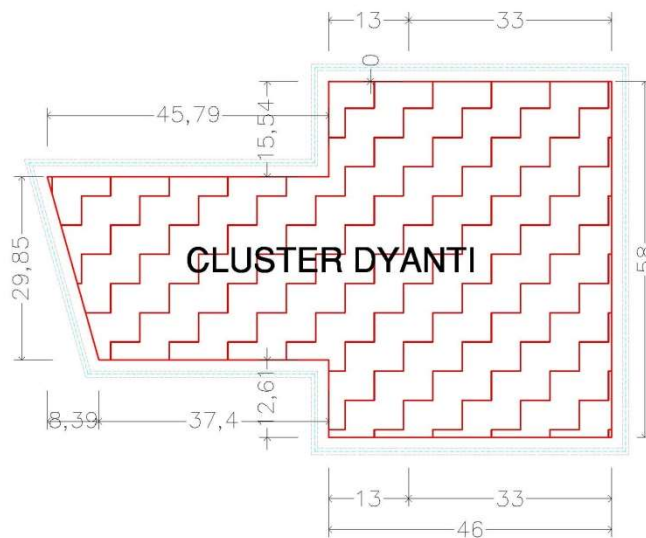
Gambar 1.1 Pergerakan Lateral Tanah pada Metode *Embankment Preloading* dan *Vacuum Preloading* (Chai et al., 2005)

Metode *vacuum preloading* pertama kali diperkenalkan di Swedia oleh Kjellman (1942). Sejak itu, metode ini sering digunakan sebagai metode perbaikan tanah dasar untuk mempercepat pemampatan tanah pada daerah dengan tanah lunak di beberapa negara, misalnya Bandara Philadelphia, Bandara Tianjin, North-South Expressway, Bandara Suvarnabhumi, dan Pelabuhan Brisbane (Holtan, 1965; Choa, 1990; Jacob et al., 1994; Chu et al., 2000; Bergado et al.,

2002; Yan dan Chu, 2003). Di Indonesia, metode *vacuum preloading* telah diaplikasikan pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung. Proyek yang berada di Gedebage, Bandung tersebut dibangun di atas lapisan tanah dasar yang dominan tanah lempung lunak dan bercampur dengan tanah organik. Awalnya, Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung menggunakan metode *embankment preloading* dengan PVD untuk perbaikan tanah dasarnya. Metode ini telah digunakan pada area jalan, area *cluster* Amanda & Btari, area *cluster* Cynthia, dan area *commercial* Magna selama tahun 2016. Denah area-area tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.2. Perbaikan tanah dasar metode *embankment preloading* pada proyek ini menjadi terhambat karena masalah cuaca yang mengakibatkan mundurnya pekerjaan timbunan tanah. Untuk itu, digunakan alternatif lain dengan mengganti metode *embankment preloading* dengan metode *vacuum preloading*. Seperti yang telah diketahui bahwa metode *vacuum preloading* tidak banyak membutuhkan material timbunan tanah, sehingga diharapkan tetap bisa berjalan apabila menghadapi masalah cuaca kembali pada tahun 2017. Metode *vacuum preloading* digunakan pada area *cluster* Dyanti yang dapat dilihat pada Gambar 1.2. Untuk detail area *cluster* Dyanti, dapat dilihat pada Gambar 1.3.



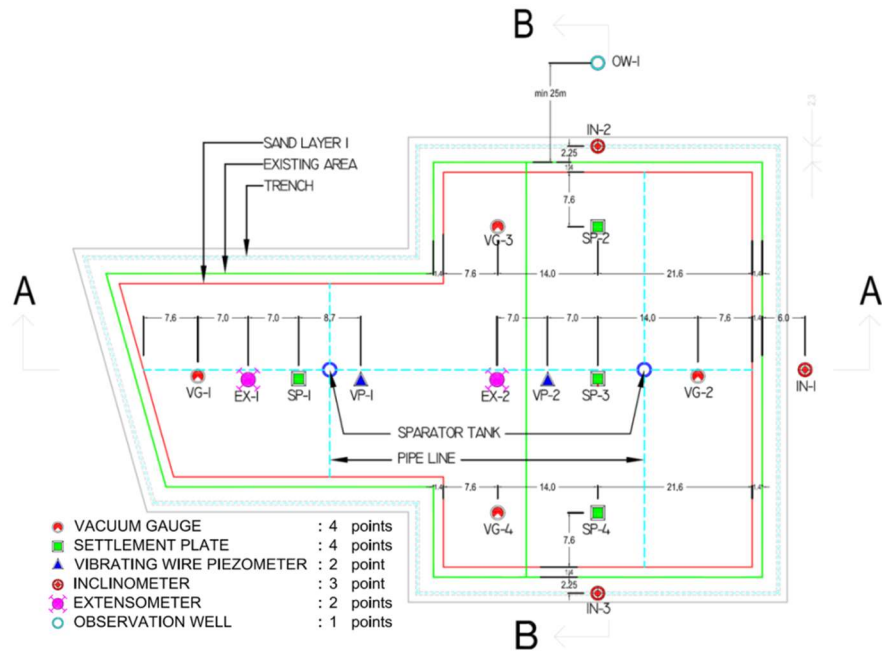
Gambar 1.2 Denah Area Perbaikan Tanah Dasar (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017)



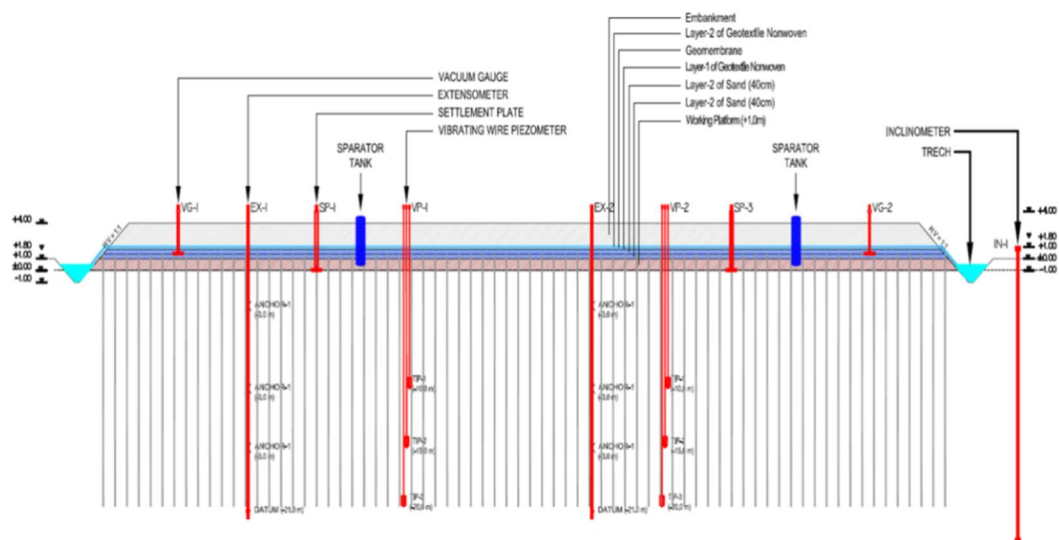
Gambar 1.3 Detail Area *Cluster* Dyanti (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017)

Pada area *cluster* Dyanti yang memiliki luas 0,4 ha, sudah direncanakan beban *vacuum* sebesar 74 kPa yang setara dengan tinggi timbunan tanah 4,4 m apabila berat volume timbunan tanah diasumsikan  $1,7 \text{ t/m}^3$ , timbunan tanah setinggi 2,8 m untuk mencapai elevasi akhir yang direncanakan (*levelling*), PVD pola segitiga dengan jarak 1,2 m sedalam 20 m untuk memperpendek aliran air pori tanah, sehingga mempercepat pemampatan tanah, *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) untuk meneruskan aliran dari PVD ke pipa pembuangan yang disalurkan langsung ke pompa *vacuum*, *Geotextile Non-Woven* untuk lapisan proteksi, serta *Geomembrane HDPE* untuk lapisan kedapnya. Untuk memantau stabilitas, pemampatan, dan tekanan air pori tanah akibat pelaksanaan *vacuum preloading* di lapangan, maka dipasang alat instrumen geoteknik yang terdiri dari *Vacuum Gauge* untuk mengukur tekanan *vacuum*, *Settlement Plate* dan *Extensometer* untuk mengetahui pemampatan tanah yang terjadi, *Vibrating Wire Piezometer* untuk mengetahui tekanan air pori tanah, *Inclinometer* untuk mengetahui pergerakan lateral tanah, dan *Observation Wall* untuk mengukur muka air tanah. Denah lokasi letak alat instrumen geoteknik dapat dilihat pada Gambar 1.4 dan potongan melintangnya pada Gambar 1.5. Alat instrumen geoteknik tersebut di-*monitoring* secara rutin. Secara keseluruhan, ilustrasi

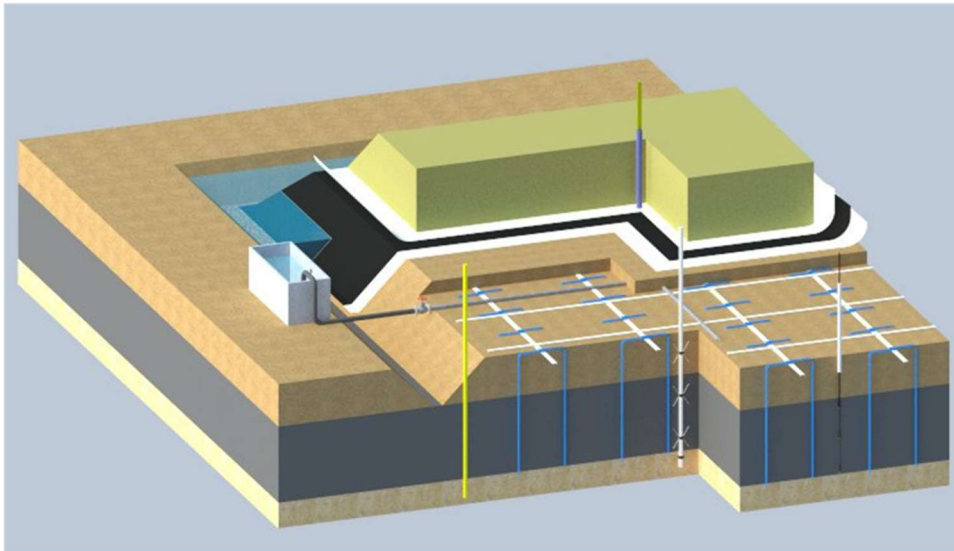
metode *vacuum preloading* pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1.4 Denah Lokasi Letak Alat Instrumen Geoteknik (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017)



Gambar 1.5 Potongan Melintang Denah Lokasi Letak Alat Instrumen Geoteknik (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017)



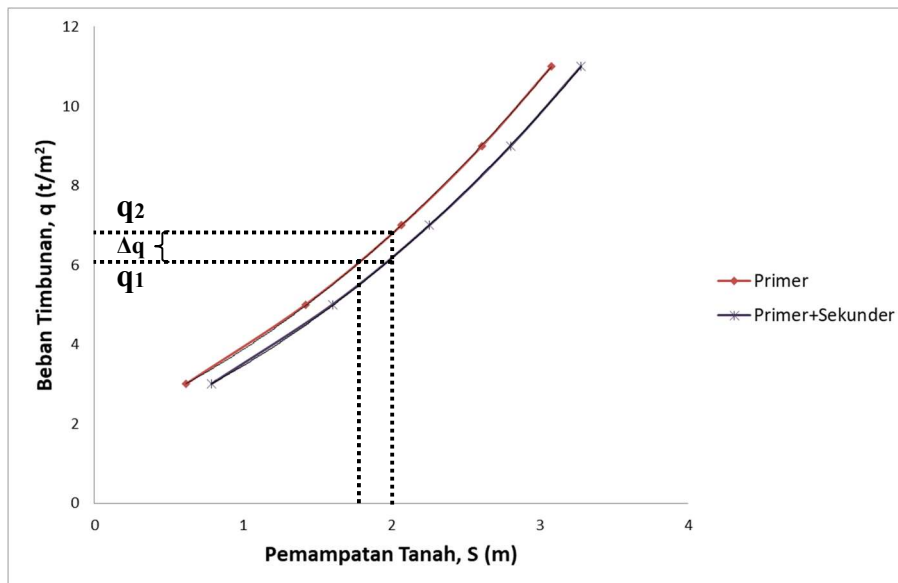
Gambar 1.6 Metode *Vacuum Preloading* pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2017)

Umumnya, metode *preloading* dengan PVD hanya ditujukan untuk mempercepat pemampatan primer, sedangkan pemampatan sekunder masih tetap ada. Kedua jenis pemampatan tersebut berlangsung dalam waktu yang berbeda, yaitu dimulai dengan pemampatan primer dan dilanjutkan dengan pemampatan sekunder. Dalam kondisi biasa, pemampatan primer berlangsung dalam waktu puluhan hingga ratusan tahun. Dengan PVD, waktu pemampatan primer menjadi lebih singkat, yaitu berlangsung dalam waktu bulanan, sehingga pemampatan sekunder terjadi lebih awal. Hanya saja para kontraktor kurang memperhatikan pemampatan sekunder karena dianggap sangat kecil dibandingkan dengan pemampatan primer, padahal sering terjadi jalan bergelombang dan bangunan retak karena adanya *differential settlement* yang disebabkan oleh pemampatan sekunder. Pemampatan sekunder juga dikhawatirkan dapat menyebabkan elevasi infrastruktur turun hingga mencapai lebih rendah dari elevasi muka air banjirnya apabila tidak dihilangkan. Pada umumnya, pemampatan sekunder menghasilkan besar pemampatan sekitar  $1/3$ - $1/4$  dari besar pemampatan primer, sedangkan pemampatan primer menghasilkan besar pemampatan sekitar  $1/3$ - $1/4$  dari tinggi timbunan tanah atau beban yang diberikan pada tanah dasar. Misalnya, tinggi timbunan tanah yang dibebankan pada tanah dasar setinggi 3 m, normalnya pemampatan primer yang terjadi adalah sekitar 1 m dan pemampatan sekunder

yang terjadi adalah sekitar 0,3 m dalam waktu yang tidak ditentukan dan berlangsung lama. Pada contoh kasus tersebut, besar pemampatan sekunder sangatlah kecil dibandingkan dengan besar pemampatan primer. Oleh karena itu, pemampatan sekunder dapat diabaikan. Berbeda dengan Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung ini, di mana berdasarkan kenyataan di lapangan, tanah dasarnya bercampur dengan tanah organik yang memiliki angka pori besar. Dengan angka pori besar, pemampatan primer yang terjadi cukup besar, sehingga ditakutkan pemampatan sekunder yang terjadi besar pula dan berdampak pada kerusakan infrastruktur. Maka dari itu, pemampatan sekunder pada proyek ini perlu diperhatikan dan dihilangkan sebelum infrastruktur dibangun. Hingga saat ini, belum ada studi atau penelitian mengenai bagaimana cara menghilangkan pemampatan sekunder agar pemampatan tersebut selesai sebelum infrastruktur dibangun.

Ada banyak faktor yang mungkin mempengaruhi besarnya pemampatan sekunder, beberapa dari faktor-faktor tersebut belum dapat dimengerti dengan jelas (Mesri, 1973). Perbandingan pemampatan sekunder terhadap pemampatan primer untuk suatu lapisan tanah dengan ketebalan tertentu adalah tergantung pada perbandingan antara penambahan tegangan ( $\Delta P$ ) dengan tegangan efektif awal ( $P$ ). Apabila  $\Delta P/P$  kecil, perbandingan pemampatan sekunder dan primer adalah besar. Adapun Alihudien dan Mochtar (2009) yang menyatakan bahwa indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) dipengaruhi oleh tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ). Semakin besar tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ), maka semakin besar indeks pemampatan sekundernya ( $C'_\alpha$ ), sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan tegangan ( $\Delta P$ ) mempengaruhi besar pemampatan sekunder. Dari pernyataan tersebut, perlu dilakukan studi untuk mengetahui apakah pemampatan sekunder dapat dihilangkan dengan adanya penambahan tegangan ( $\Delta P$ ) atau tidak. Dalam hal ini, penambahan tegangan ( $\Delta P$ ) dilakukan dengan memberi beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) pada metode *preloading* yang dibebankan pada pemampatan primer dan kemudian dibongkar ketika metode *preloading* selesai seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1.7.





Gambar 1.7 Grafik Hubungan Pemampatan Primer dan Total dengan Beban Timbunan

Dapat dilihat pada Gambar 1.7 bahwa beban timbunan ( $q_1$ ) menghasilkan pemampatan primer. Apabila beban timbunan ( $q_1$ ) diteruskan dapat menghasilkan pemampatan sekunder sekaligus, sehingga tercipta beban baru timbunan ( $q_2$ ). Selisih antara beban baru timbunan ( $q_2$ ) dengan beban timbunan ( $q_1$ ) inilah yang disebut sebagai beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) yang bertujuan untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Nilai  $\Delta q$  tersebut nantinya akan dibongkar setelah perbaikan tanah dasar dengan menggunakan metode *preloading* selesai, sehingga diharapkan sudah tidak ada lagi pemampatan primer maupun sekunder setelah infrastruktur dibangun.

Berdasarkan dari hal-hal yang sudah disampaikan sebelumnya, maka dalam tesis ini, dilakukan studi mengenai cara menghilangkan pemampatan sekunder, yaitu dengan menghilangkannya bersamaan dengan pemampatan primer menggunakan metode *preloading*. Metode *preloading* yang dimaksud adalah metode *embankment preloading* dan *vacuum preloading* seperti yang sudah dibahas di awal. Dengan metode *embankment preloading*, perlu diketahui tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang harus ditambahkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Berbeda dengan metode *vacuum preloading*, seperti yang telah diketahui bahwa metode ini menggunakan tekanan atmosfer sebagai beban

tambahan (*surcharge load*) untuk mempercepat pemampatan tanah. Metode *vacuum preloading* dapat dikatakan berhasil apabila menerapkan tekanan *vacuum* paling tidak mencapai 80% dari tekanan atmosfer. Dalam kaitannya untuk menghilangkan pemampatan sekunder, metode ini diperkirakan lebih efektif daripada metode *embankment preloading*. Pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, *cluster* Dyanti akan dibangun untuk kawasan perumahan, di mana beban rumah ekuivalen dengan 10 kPa. Sedangkan, beban *vacuum* yang diterapkan pada proyek ini sebesar 74 kPa seperti yang sudah disebutkan sebelumnya. Perbedaan beban sebesar 64 kPa tersebut dapat dikatakan sebagai beban tambahan (*surcharge load*) yang bisa menyebabkan pemampatan tanah lebih besar lagi yang diharapkan juga mencakup pemampatan sekunder. Hal ini yang mendasari bahwa metode *vacuum preloading* diperkirakan lebih efektif daripada metode *embankment preloading* dalam menghilangkan pemampatan sekunder. Selain itu, metode *vacuum preloading* umumnya hanya membutuhkan material timbunan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*), sehingga kebutuhan material timbunan pada *vacuum preloading* tidak sebanyak kebutuhan material timbunan pada *embankment preloading*.

Studi dalam tesis ini meliputi tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung dengan metode *embankment preloading* yang nantinya akan dibandingkan dengan metode *vacuum preloading* untuk membuktikan efektivitas *vacuum preloading* dalam menghilangkan pemampatan sekunder. Sebelumnya, dilakukan pula studi mengenai korelasi parameter-parameter tanah yang dibutuhkan untuk menghitung pemampatan sekunder, yaitu korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ). Menurut Alihudien dan Mochtar (2009) serta Dhianty dan Mochtar (2018), pemampatan sekunder dipengaruhi oleh besarnya indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ), angka pori ( $e$ ), dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ). Oleh karena itu, dalam tesis ini dilakukan studi mengenai korelasi antara 3 parameter tanah tersebut dalam rangka membuat perumusan indeks pemampatan sekunder yang berguna untuk perhitungan pemampatan sekunder pada proyek ini. Parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam tesis ini

diperoleh dari uji laboratorium dengan menggunakan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) yang diambil dari area sekitar perbaikan tanah dasar dengan *vacuum preloading* pada *cluster* Dyanti, Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung. Selanjutnya, studi dalam tesis ini juga meliputi estimasi biaya yang harus dikeluarkan baik menggunakan metode *embankment preloading* maupun *vacuum preloading* agar pihak Summarecon selaku pemilik proyek dapat mempertimbangkan metode perbaikan tanah dasar; *embankment preloading* atau *vacuum preloading* yang lebih efektif dan ekonomis dalam menghilangkan pemampatan sekunder sekaligus bersamaan dengan pemampatan primer.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tesis ini antara lain:

1. Bagaimana korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ), angka pori ( $e$ ), dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) pada tanah di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung?
2. Berapa tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder menggunakan metode *embankment preloading*?
3. Berapa tinggi timbunan yang dibutuhkan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*) saat pemampatan sekunder sudah dihilangkan menggunakan metode *vacuum preloading*?
4. Berapa estimasi biaya yang harus dikeluarkan baik menggunakan metode *embankment preloading* maupun *vacuum preloading*?

## 1.3. Tujuan

Dari rumusan masalah di atas, diharapkan mencapai tujuan dari tesis ini, di antaranya adalah:

1. Mengetahui korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ), angka pori ( $e$ ), dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) pada tanah di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung.

2. Mengetahui tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder menggunakan metode *embankment preloading*.
3. Mengetahui tinggi timbunan yang dibutuhkan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*) saat pemampatan sekunder sudah dihilangkan menggunakan metode *vacuum preloading*.
4. Mengetahui estimasi biaya yang harus dikeluarkan baik menggunakan metode *embankment preloading* maupun *vacuum preloading*.

#### **1.4. Manfaat**

Studi dalam tesis ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan dan pertimbangan untuk pengambilan keputusan pihak Summarecon dalam memilih metode perbaikan tanah dasar; *embankment preloading* atau *vacuum preloading* yang lebih efektif dan ekonomis dalam menghilangkan pemampatan sekunder sekaligus bersamaan dengan pemampatan primer.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tanah Lempung Lunak**

Tanah lunak menempati area sekitar 20 juta hektar atau lebih dari 10% dari tanah daratan di Indonesia. Tanah lunak dibagi menjadi 2, yaitu tanah lempung lunak (*soft clay*) dan tanah gambut (*peat*). Tanah lempung lunak mengandung mineral-mineral lempung dan kadar air yang tinggi, sedangkan tanah gambut merupakan jenis tanah yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan. Tanah lempung lunak memiliki karakteristik, antara lain daya dukungnya relatif rendah serta pemampatan yang relatif besar dan berlangsung lama. Apabila dilakukan pembangunan infrastruktur di atas tanah lempung lunak, maka beban yang mampu dipikul tanah dasar menjadi terbatas, infrastruktur yang dibangun akan mengalami penurunan, dan infrastruktur lainnya di sekitar lokasi pembangunan akan berpotensi mengalami gangguan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan tanah dasar.

Seperti yang diketahui bahwa tanah adalah campuran partikel-partikel. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari 1 macam ukuran partikel. Tanah lempung lunak belum tentu terdiri dari partikel lempung dan lanau saja, tetapi dapat bercampur dengan pasir dan mungkin juga terdapat campuran organik. Berikut pengaruh konten organik terhadap perilaku tanah lempung lunak:

1. Apabila kandungan organik <5%, maka sifat organiknya berpengaruh sedikit sekali terhadap perilakunya (*inorganic*).
2. Apabila kandungan organik 5-25%, maka sifat organiknya berpengaruh, tetapi perilakunya tetap seperti tanah lempung lunak (*organic silts and clays*).
3. Apabila kandungan organik 25-75%, maka sifat organiknya berpengaruh dan perilakunya menjadi dominan (*silty or clayey organics*).

4. Apabila kandungan organik  $>75\%$ , maka tanah tersebut sudah dikatakan tanah gambut yang memiliki kadar air dan angka pori yang sangat tinggi.

## 2.2. Perbaikan Tanah Dasar

Pada dasarnya, perbaikan tanah dasar mempunyai tujuan secara umum, yaitu meningkatkan daya dukung dan kuat geser tanah, meningkatkan modulus tanah, mengurangi kompresibilitas tanah, mengontrol stabilitas volume (*shrinkage* dan *swelling*) tanah, mengurangi kerentanan terhadap *liquefaction*, memperbaiki kualitas material untuk bahan konstruksi, dan memperkecil pengaruh untuk daerah sekitarnya.

### 2.2.1. Konsistensi Tanah Berdasarkan Harga $c_u$ dan SPT

Menurut Mochtar (2006), revisi (2012), konsistensi tanah terbagi menurut harga  $c_u$  dan SPT seperti pada Tabel 2.1. Tanah dikatakan sebagai tanah kompresibel atau tanah yang mudah memampat sampai dengan konsistensi tanah menengah (*medium*).

Tabel 2.1 Konsistensi Tanah Menurut Harga  $c_u$  dan SPT

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, $C_u$		Taksiran harga SPT, harga N
	kPa	ton/m <sup>2</sup>	
Sangat lunak (very soft)	0 – 12,5	0 – 1,25	0 – 2,5
Lunak (soft)	12,5 – 25	1,25 – 2,5	2,5 – 5
Menengah (medium)	25 – 50	2,5 – 5	5 – 10
Kaku (stiff)	50 – 100	5 – 10	10 – 20
Sangat kaku (very stiff)	100 – 200	10 – 20	20 – 40
Keras (hard)	> 200	> 20	> 40

Sumber: Mochtar (2006), revisi (2012)

### 2.2.2. Metode Perbaikan Tanah Dasar

Untuk memperbaiki kondisi tanah belakangan ini, semakin banyak tawaran metode yang dapat dipilih. Menurut Mitchell (1981), perbaikan tanah meliputi:

1. Pemadatan tanah, terutama untuk pemadatan tanah dalam (*deep compaction*) dengan menggunakan penumbuk berat dan ledakan (*blasting*).
2. Pemadatan tanah (*soil compression*), terutama yang menyangkut pemampatan awal (*precompression*) dengan pembebanan awal (*preloading*) dan penggunaan drain vertikal (*vertical drain*) serta pemampatan tanah secara *electro osmosis*.
3. Injeksi dengan *grouting* ke dalam tanah untuk memperkuat tanah dasar dan menstabilkan struktur tanahnya.
4. Stabilisasi tanah dengan bantuan bahan luar (tambahan) atau dengan bantuan bahan-bahan kimia yang dicampur tanah asli.
5. Stabilisasi cara termal.
6. Pemberian perkuatan dalam tanah (*reinforcement*), baik *reinforcement* tarik maupun tekan.

Untuk pemilihan metode, tidak dapat asal pilih, tetapi harus sesuai dengan kondisi lapangan dan kriteria yang ditentukan dalam dokumen pelelangan proyek. Kriteria tersebut antara lain jenis dan tingkat perbaikan yang diinginkan, jenis dan struktur tanah serta kondisi aliran tanah, biaya proyek, ketersediaan peralatan dan material, waktu penyelesaian proyek, kemungkinan kerusakan struktur bangunan di sekitarnya, dan ketahanan material yang digunakan.

### **2.2.3. Metode Perbaikan Tanah Dasar dengan Pra Pembebanan (*Preloading*)**

Perbaikan tanah dasar yang cocok untuk tanah lempung lunak adalah metode pra pembebanan (*preloading*). Metode pra pembebanan (*preloading*) di antaranya adalah *embankment preloading* dan *vacuum preloading*. Metode *embankment preloading* dan *vacuum preloading* pada prinsipnya sama, yaitu menghilangkan seluruh atau sebagian besar pemampatan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah dengan cara memberikan beban awal yang lebih besar atau sama dengan beban infrastruktur yang direncanakan. Untuk mempercepat waktu pemampatan tanah, kedua metode tersebut biasanya dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Metode *embankment preloading* dilakukan dengan membebani tanah dengan beban timbunan tanah, sedangkan metode



*vacuum preloading* dilakukan dengan melakukan pemompaan *vacuum* dari lapisan tanah di bawah lapisan membran tipis yang kedap air, sehingga tegangan air pori di dalam tanah dapat dibuat negatif (Holtz dan Wager, 1975; Pilot, 1977).

### **2.3. Metode *Embankment Preloading***

Pada dasarnya, metode *embankment preloading* mempunyai tujuan secara umum, yaitu meningkatkan daya dukung dan kuat geser tanah serta menyelesaikan pemampatan tanah yang terjadi sebelum infrastruktur dibangun di atasnya, sehingga ketika infrastruktur telah selesai dibangun dan digunakan dalam jangka waktu sesuai umur rencana, tidak mengalami pemampatan tanah kembali yang dapat membuat infrastruktur tersebut rusak. *Embankment preloading* merupakan suatu metode perbaikan tanah lempung lunak dengan cara menempatkan timbunan tanah pada lokasi perbaikan tanah dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat struktur (beban permanen) yang akan dibangun. Akibat adanya beban timbunan tanah tersebut, maka lapisan tanah di bawahnya akan tertekan, sehingga air yang berada di dalam pori-pori tanah akan terperas ke luar. Apabila pemampatan tanah yang diinginkan telah tercapai, sebagian timbunan tanah dapat dibongkar.

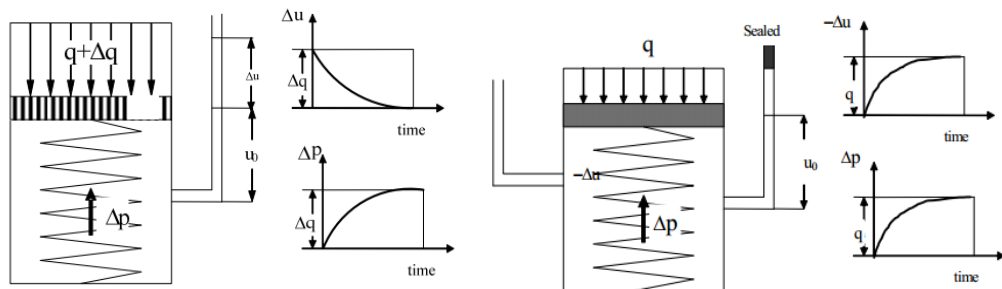
### **2.4. Metode *Vacuum Preloading***

Gouw (2012) menyebutkan, umumnya sistem *vacuum preloading* terdiri dari *drainage system*, *sealing system*, dan *vacuum pumps*. Tekanan *vacuum* yang dihasilkan oleh pompa tersebar di tanah dengan *drainage system*, sehingga dapat mengeluarkan air dan mempercepat pemampatan. *Drainage system* ini adalah sistem yang berupa hubungan antara PVD, *horizontal filter pipes*, dan lapisan pasir untuk menciptakan jalur untuk menyebarkan tekanan *vacuum* dan aliran air. *Sealing system* terdiri dari sistem isolasi kedap udara untuk mencegah air atau udara bocor. Sistem ini terdiri dari *Geomembrane*, *slurry wall*, dan juga tanah lempung lunak itu sendiri. *Slurry wall* adalah teknik pembuatan tirai kedap air dari bahan semen *bentonite* yang dipasang pada daerah dengan keadaan tanah yang lunak yang dekat dengan perairan atau memiliki muka air tanah yang tinggi,

terutama sekali untuk mengisolasi lapisan pasir yang mampu mengalirkan air dari luar area perbaikan dan menyebabkan kerja *vacuum* tidak efektif.

Vu Manh Quynh dan Wang Baotian (2010) menjelaskan, mekanisme *vacuum preloading* adalah saat beban *vacuum* itu diberikan, akan terjadi penurunan tegangan air pori. Dengan beban luar yang tidak berubah, tegangan efektif bertambah. Sebagai ilustrasi, saat beban *vacuum* ( $-\Delta u$ ) diberikan, tegangan air pori masih berupa tegangan atmosfer ( $p_a$ ). Makin lama tegangan air pori akan makin berkurang dan tanah akan terkompresi. Lalu, tanah akan mengalami peningkatan tegangan efektif. Besar tegangan efektif ini adalah sama dengan penurunan tegangan air pori itu ( $\Delta u$ ) yang nilainya tidak mungkin melebihi nilai tekanan atmosfer ( $p_a$ ).

Proses konsolidasi tanah di bawah beban timbunan tanah (*embankment preloading*) sulit dipahami dan dapat diilustrasikan dengan menggunakan analogi pegas (*spring*) seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Analogi Pegas untuk Proses Konsolidasi dengan Menggunakan Beban Timbunan Tanah (Kiri) dan Beban *Vacuum* (Kanan) (Chu dan Yan, 2005)

Apabila dijadikan rumus, maka analogi pegas untuk konsolidasi dengan menggunakan beban timbunan tanah menjadi:

$$u_0 = q$$

$$\Delta p = q + \Delta q - (u_0 + \Delta u) = \Delta q - \Delta u \quad (2.1)$$

Sedangkan, analogi pegas untuk untuk konsolidasi dengan menggunakan beban *vacuum* adalah:

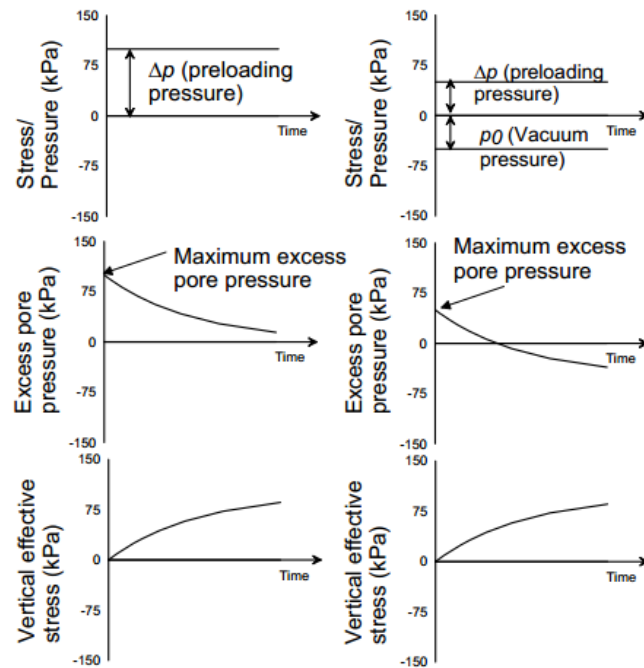
$$u_0 = q$$

$$\Delta p = q - (u_0 - \Delta u) = \Delta u \quad (2.2)$$

Karakteristik *vacuum preloading* secara umum apabila dibandingkan dengan *embankment preloading* adalah sebagai berikut (Qian et al., 1992; Indraratna and Chu, 2005):

- Tegangan efektif yang berhubungan dengan tekanan hisap meningkat dari arah manapun, sehingga perpindahan lateral yang terjadi adalah tekan. Jadi, kegagalan geser yang terjadi bisa diminimalisir bahkan dengan pembangunan timbunan tanah lebih besar, walaupun perpindahan ke dalam menuju ujung timbunan tanah harus tetap dimonitor untuk mencegah tegangan tarik berlebih.
- *Vacuum head* bisa menyebar luas menuju kedalaman tanah yang lebih besar melalui sistem PVD dan *suction* bisa menyebar luas menuju ujung *drain* dan batasan *drain*.
- Mengasumsikan berdasarkan kebocoran udara dan efisiensi dari sistem *vacuum* yang digunakan di lapangan, volume dari timbunan tanah bisa dikurangkan untuk mencapai derajat konsolidasi yang sama.
- Dengan berkurangnya tinggi timbunan tanah, maka tegangan air pori maksimum yang dihasilkan oleh *vacuum preloading* lebih kecil dari *vacuum preloading*.
- Dengan tekanan *vacuum*, kondisi tanah yang tidak jenuh air pada antarmuka *drain* bisa diimbangi sebagian.
- Dengan *vacuum preloading*, tegangan yang terjadi terdiri dari 2 bagian, yaitu tekanan *vacuum* dan tegangan tanah lateral (Chai, 2005). Chai et al. (2008) mendemonstrasikan adanya kemungkinan area dengan tanah lempung dengan menggunakan gabungan *cap drain* dengan *vacuum* dan permukaan tanah sebagai lapisan *sealing* sebagai pengganti lapisan *membrane* pada permukaan tanah. Namun, efisiensi dari metode ini bergantung pada permukaan tanah pasir dari terpengaruh oleh tekanan dari lapisan lolos air berupa pasir dan diskontinuitas dari tanah.

Proses konsolidasi dengan *embankment preloading* serta *vacuum preloading* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Konsolidasi dengan *Embankment Preloading* (Kiri) dan *Vacuum Preloading* (Kanan) (Indraratna et al., 2005)

#### 2.4.1. Sistem Instalasi *Vacuum Preloading* Menggunakan Lapisan Kedap (*Geomembrane*)

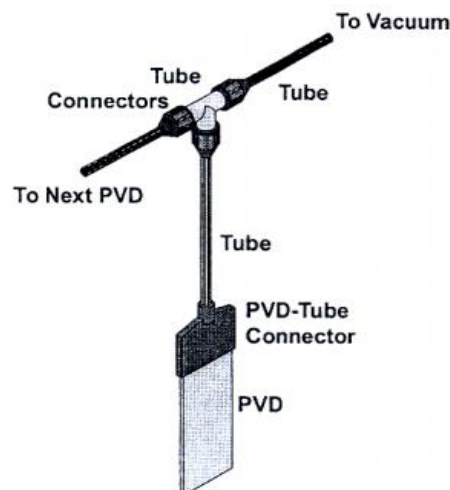
Penggunaan lapisan kedap (*Geomembrane*) pada instalasi *vacuum preloading* bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kinerja tekanan *vacuum*. Hal terpenting dalam sistem *vacuum preloading* adalah *horizontal drain* yang dipasang melintang setelah penimbunan lapisan pasir untuk mendistribusikan *surface suction* (pengisapan) secara merata. Lalu, *horizontal drain* dan PVD ini bisa disambungkan dan menuju pinggir parit yang biasa dipasang dengan sistem *membrane*. Parit ini kemudian bisa diisi dengan air atau *bentonite* untuk meningkatkan keseluruhan *sealing system* dari *membrane* pada sekitar zona yang diperbaiki. Lalu, pompa *vacuum* disambungkan ke sistem pompa *prefabricated* yang terpasang dari parit-parit. *Suction head* yang dihasilkan oleh pompa *vacuum* ini membantu mengeluarkan tegangan air pori lewat PVD.

Area yang akan diperbaiki harus dibagi menjadi beberapa bagian untuk pemasangan *membrane*. *Vacuum preloading* hanya bisa dipakai secara efektif pada 1 bagian saja. Keefektifan kinerja sistem ini sangat dipengaruhi oleh

*Geomembrane*. Hal ini dikarenakan apabila terjadi kebocoran udara, maka bisa mempengaruhi seluruh sistem kerja PVD.

#### 2.4.2. Sistem Instalasi *Vacuum Preloading* Tanpa Menggunakan Lapisan Kedap (*Geomembrane*)

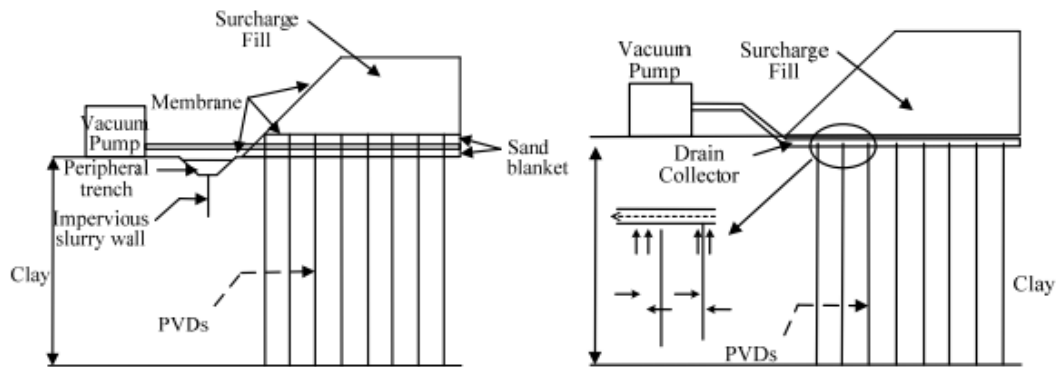
Penggunaan sistem tanpa menggunakan lapisan kedap (*Geomembrane*) ini sangat cocok untuk perbaikan pada area yang sangat besar. Hal ini dikarenakan sistem ini menggunakan pipa fleksibel yang dipasang pada masing-masing PVD. Pada sistem ini, PVD disambungkan ke *collector drain* seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Tidak seperti sistem *vacuum* yang menggunakan *membrane* di mana kebocoran udara bisa mempengaruhi seluruh sistem kerja PVD, pada sistem tanpa *membrane* ini setiap *drain* bekerja secara independen.



Gambar 2.3 Sistem *Vacuum Preloading* Tanpa Menggunakan Lapisan Kedap (*Geomembrane*) (Seah, 2006)

Pada sistem ini, bagian atas PVD dijaga agar tertutup. Namun, yang kurang dari sistem ini adalah tidak memberikan kondisi kedap udara pada area, sehingga efisiensi dari sistem ini mungkin saja menjadi rendah. Selain itu, tekanan *vacuum* yang bekerja hanya bisa mencapai 50 kPa atau kurang (Seah, 2006). Metode ini juga hanya bekerja apabila area yang dikerjakan didominasi oleh tanah lempung dengan permeabilitas rendah.

Perbedaan sistem *vacuum preloading* dengan dan tanpa menggunakan lapisan kedap (*Geomembrane*) dapat dilihat pada Gambar 2.4. Terlepas dari karakteristik dari masing-masing sistem *vacuum*, keefektifan keduanya tergantung dari parameter-parameter tanah itu sendiri, ketebalan tanah lempung lunak, *drain spacing*, tipe dan geometri dari PVD, desain, dan kapasitas pompa *vacuum*. Pemilihan dan pelaksanaan sistem biasanya berdasarkan penilaian empiris yang berdasar dari beragam aspek oleh tender dan/atau pengalaman dari kontraktor, bukan berdasarkan studi perhitungan detail.



Gambar 2.4 Perbedaan Sistem *Vacuum Preloading* dengan Menggunakan Lapisan Kedap (*Geomembrane*) (Kiri) dan Tanpa Menggunakan Lapisan Kedap (*Geomembrane*) (Kanan) (Indraratna et al., 2005)

### 2.4.3. Prinsip *Vacuum Preloading*

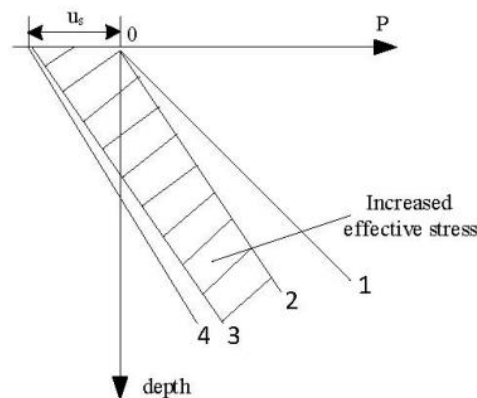
Prinsip *vacuum preloading* dapat diilustrasikan melalui Gambar 2.5. Pada Gambar 2.5, garis 1 adalah garis *total stress*, garis 2 adalah garis *initial water pressure*, garis 3 adalah garis *water pressure* setelah *vacuum* dilakukan, dan garis 4 adalah garis *water pressure* apabila tidak terjadi *head lose*.

Mohamedelhassan dan Shang (2002) menciptakan sistem gabungan *vacuum* dan beban timbunan tanah serta mengangkat teori konsolidasi 1 dimensi Terzaghi. Mekanisme untuk gabungan *vacuum* dan beban timbunan tanah bisa ditentukan dengan hukum superposisi. Derajat konsolidasi rata-rata untuk gabungan *vacuum* dan beban timbunan ditentukan dengan rumus:

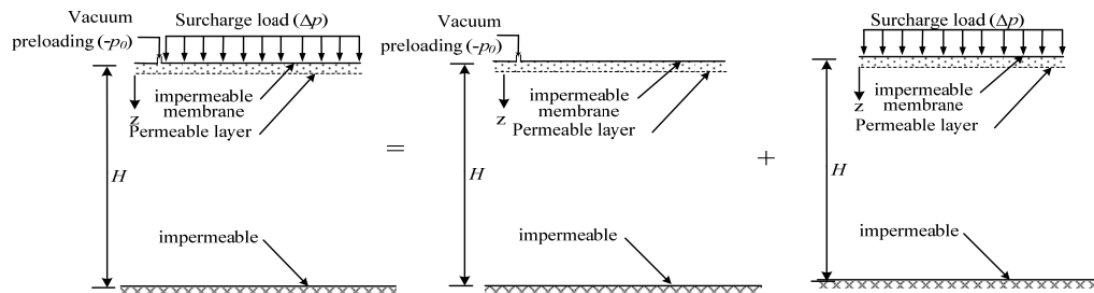
$$U_{vc} = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \exp^{-M^2 T_{vc}} \quad (2.3)$$

$$T_{vc} = c_{vc} t / H^2 \quad (2.4)$$

Di mana  $T_{vc}$  adalah *time factor* dari gabungan *vacuum* dan beban timbunan tanah dan  $c_{vc}$  adalah koefisien konsolidasi dari gabungan *vacuum* dan beban timbunan tanah. Skema kombinasi metode *vacuum preloading* dengan *embankment preloading* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5 Prinsip *Vacuum Preloading* (Gouw, 2012)



Gambar 2.6 Skema Kombinasi Metode *Vacuum Preloading* dengan *Embankment Preloading* (Mohamedelhassan dan Shang, 2002)

Indraratna et al. (2004) menunjukkan bahwa saat *vacuum* dikerjakan di lapangan dengan PVD, *suction head* sepanjang *drain* akan berkurang seiring dengan kedalaman tanah, sehingga bisa mengurangi efisiensinya. *Ration* dari yang terjadi pada PVD tergantung pada panjang dan tipe PVD (properti dari *core* dan *filter*). Tetapi, beberapa studi lapangan menyatakan bahwa *suction* ini bekerja cepat bahkan bila PVD dipasang dengan panjang hingga 30 m. (Bo et al., 2003; Indraratna et al., 2005)

#### **2.4.4. Keunggulan dan Kelemahan *Vacuum Preloading***

Keunggulan umum dari *vacuum preloading* adalah metode ini tidak membutuhkan material timbunan yang banyak, waktu berlangsungnya perbaikan tanah dasar menjadi lebih singkat dan tidak memerlukan alat berat. Selain itu, tidak ada campuran kimia yang akan masuk ke dalam tanah. Maka dari itu, metode ini adalah metode perbaikan tanah dasar yang ramah lingkungan (Chai, 2005). Keunggulan lainnya di antaranya adalah:

- Meningkatkan kekuatan tanah dengan cepat.
- Pemampatan total (*total settlement*) yang lebih besar.
- Mengurangi pemampatan yang masih akan terjadi setelah masa perbaikan tanah dasar selesai.
- Area kerja yang minimum.

Keunggulan selanjutnya dari metode *vacuum preloading* adalah metode ini menerapkan *isotropic consolidation* yang meminimalisir resiko kegagalan longsor (*sliding*). Kemungkinan masalah yang terjadi terkait dengan *vacuum preloading* di antaranya adalah (Masse et al., 2001):

- Mempertahankan sistem drainase yang efektif di bawah *membrane* yang mengeluarkan air dan udara sepanjang durasi pemompaan.
- Menyimpan media *non-water saturated* di bawah *membrane*.
- Mempertahankan level keefektifan *vacuum*.
- Mempertahankan sistem anti bocor khususnya pada pompa/koneksi *membrane* dan di seluruh area *membrane*.
- Menahan dan mensegel sistem di pinggiran.
- Mengurangi rembesan lateral ke arah *vacuum*.

Menurut Masse et al., 2001, masalah-masalah di atas terjadi di masa lalu karena alasan teknologi. Namun, hambatan utama untuk perkembangan *vacuum preloading* adalah kurangnya pemahaman tentang prinsip-prinsip dasarnya.

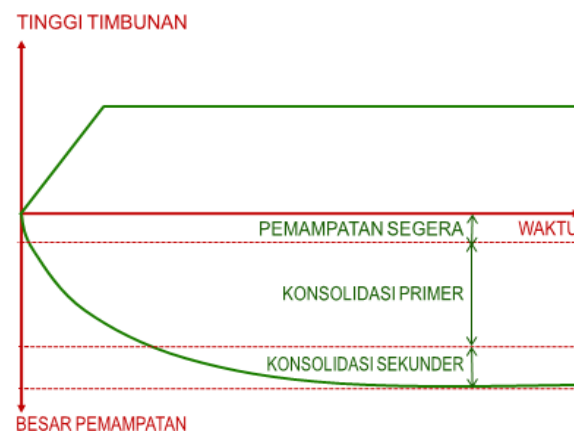
#### **2.5. Kemampumampatan Tanah**

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan seperti pada Gambar 2.7.



Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, ke luarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Pemampatan segera merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan pemampatan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.
2. Penurunan konsolidasi merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari ke luarnya air pori yang menempati pori-pori tanah.



Gambar 2.7 Grafik Waktu Pemampatan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penambahan Beban (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

### 2.5.1. Pemampatan Primer

Pemampatan primer adalah pemampatan yang terjadi akibat ke luarnya air pori tanah sebagai akibat penambahan tegangan di permukaan tanah. Pemampatan primer dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma'_0 = (\gamma_{sat} - 1) \times \frac{1}{2} \text{ tebal lapisan H} \quad (2.5)$$

$$\sigma_c = \sigma'_{0 \text{ awal}} + \sigma'_0 \text{ titik yang ditinjau} \quad (2.6)$$

$$\text{Over Consolidated Ratio} = \text{OCR} = \frac{\sigma_c}{\sigma'_0} \quad (2.7)$$

Jika  $OCR = 1$ , maka tanah tersebut termasuk *normally consolidated* (NC Soil), sedangkan jika  $OCR > 1$ , maka tanah tersebut termasuk *over consolidated* (OC Soil).

Tanah *Normally Consolidated* (NC Soil):

$$S_{ci} = H_i \left[ \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right] \quad (2.8)$$

Tanah *Over Consolidated* (OC Soil):

Jika  $(\sigma'_0 + \Delta\sigma) \leq \sigma_c$ :

$$S_{ci} = H_i \left[ \frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right] \quad (2.9)$$

Jika  $(\sigma'_0 + \Delta\sigma) \geq \sigma_c$ :

$$S_{ci} = H_i \left[ \frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma_c} \right] \quad (2.10)$$

$$\Delta\sigma = 2 \times I \times q \quad (2.11)$$

Di mana:  $S_{ci}$  = pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau, lapisan ke-i

$H_i$  = tebal lapisan tanah ke-i

$e_0$  = angka pori dari lapisan tanah ke-i

$C_c$  = *Compression Index* dari lapisan tanah ke-i

$C_s$  = *Swelling Index* dari lapisan tanah ke-i

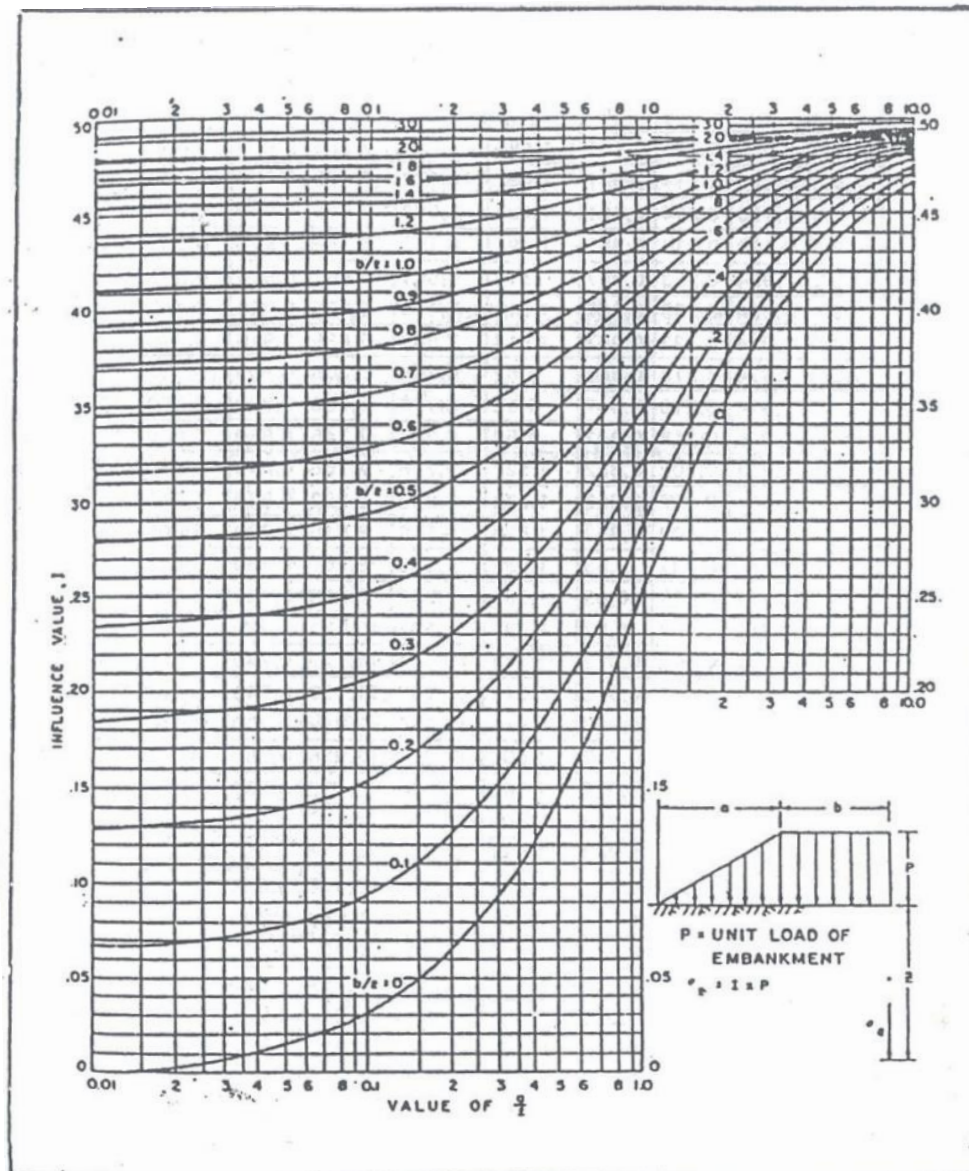
$\sigma'_0$  = tekanan tanah vertikal efektif di suatu titik di tengah-tengah lapisan ke-i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (*effective overburden pressure*)

$\sigma_c$  = tegangan konsolidasi efektif di masa lampau yang lebih besar daripada  $\sigma'_0$  (*effective past overburden pressure*)

$\Delta\sigma$  = penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau (di tengah lapisan ke-i) akibat beban timbunan yang baru

$I$  = *Influence Factor*, dapat dilihat pada Gambar 2.8

$q$  = tegangan vertikal efektif di permukaan tanah



Influence Value for Vertical Stress Under Embankment Load of Infinite Length

Gambar 2.8 Grafik *Influence Factor* (NAVFAC DM-7, 1970)

### 2.5.2. Pemampatan Sekunder

Pemampatan sekunder dapat didefinisikan sebagai pemampatan yang terjadi setelah pemampatan primer selesai, yang merupakan penyesuaian yang bersifat plastis butiran-butiran tanah. Seperti yang telah diketahui, bahwa pada akhir dari konsolidasi primer (setelah tekanan air pori sama dengan nol), penurunan masih terus terjadi sebagai akibat dari penyesuaian plastis butiran

butiran tanah. Selama tahap penurunan ini berlangsung hubungan kurva antara deformasi dan log waktu adalah merupakan garis lurus seperti pada Gambar 2.9. Menurut Mesri (1973), besarnya penurunan yang diakibatkan oleh peristiwa konsolidasi sekunder dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$C_{\alpha} = \Delta e / (\log(t_2/t_1)) \quad (2.12)$$

$$S_s = C'_{\alpha} H \log(t_2/t_1) \quad (2.13)$$

$$C'_{\alpha} = C_{\alpha} / (1 + e_p) \quad (2.14)$$

Di mana:  $C_{\alpha}$  = koefisien pemampatan sekunder

$\Delta e$  = perubahan angka pori

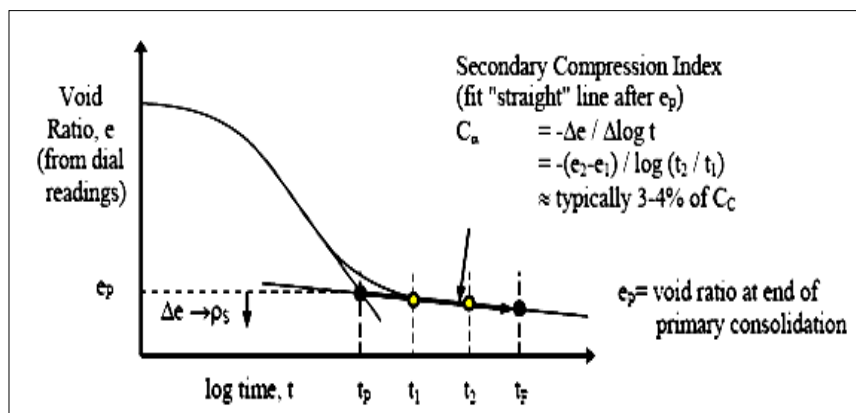
$t_1$  = waktu selesai pemampatan primer

$t_2$  = waktu rencana pemampatan sekunder

$H$  = tebal tanah yang memampat

$C'_{\alpha}$  = indeks pemampatan sekunder

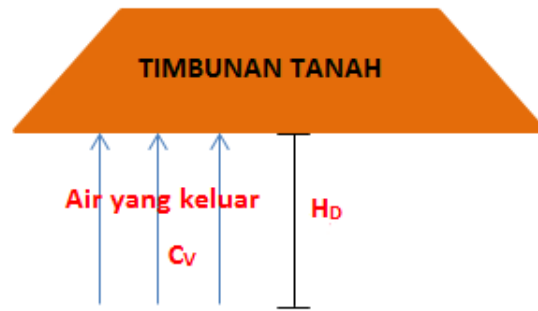
$e_p$  = angka pori pada akhir konsolidasi primer



Gambar 2.9 Grafik Hubungan antara *Void Ratio* dan Waktu Pemampatan (Mesri, 1973)

### 2.5.3. Waktu Konsolidasi Tanah Lempung Lunak Alami

Perhitungan waktu konsolidasi tanah lempung lunak dengan cara konvensional sangat tidak memungkinkan untuk mengkompresi air pori ke luar dari dalam tanah seperti yang tampak pada Gambar 2.10.



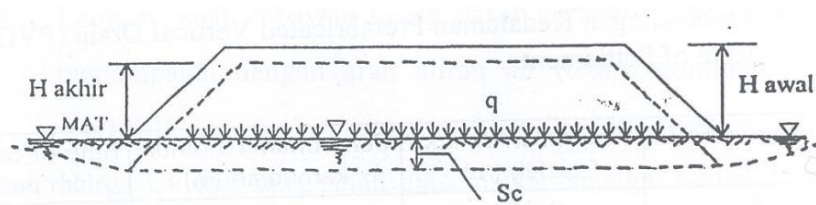
Gambar 2.10 Konsolidasi Tanah Lempung Lunak Alami

Dengan menganggap koefisien konsolidasi arah vertikal tanah adalah  $C_v$  dan tinggi air pori yang terdrainase ke luar dari tanah adalah  $H_d$ , maka persamaan yang digunakan untuk memperoleh waktu konsolidasi tanah lempung lunak alami adalah:

$$t = \frac{T \times H_d^2}{C_v} \quad (2.15)$$

## 2.6. Hubungan antara Tinggi Timbunan dan Penurunan

Suatu timbunan setelah mengalami penurunan akan mengalami perubahan “berat” karena selama terjadi penurunan sebagian tanah timbunan “tenggelam” berada di bawah muka air tanah seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kedudukan Timbunan saat Mengalami Penurunan (Mochtar, 2000)

Mula-mula:

$$q_{awal} = H_{awal} \times \gamma_{timbunan}$$

Setelah mengalami konsolidasi,  $S_c$ :

$$H_{akhir} = H_{awal} - S_c$$

$$q_{akhir} = H_{akhir} \times \gamma_{timbunan} + S_c (\gamma_{sat.timbunan} - \gamma_{water})$$

$$q_{akhir} = (H_{awal} - S_c) \gamma_{timbunan} + S_c (\gamma_{sat.timbunan} - 1)$$

Karena dianggap  $\gamma_{timbunan} = \gamma_{sat.timbunan}$ , maka:

$$q_{akhir} = H_{awal} \times \gamma_{timbunan} - S_c \quad (2.16)$$

Jadi,  $q_{akhir} < q_{awal}$

Mencari Harga  $S_c$ :

1. Tentukan suatu harga  $q$  = konstan tertentu, misal:  $q = 2 \text{ ton/m}^2$ .
2. Dengan asumsi  $q$  tersebut dan bentuk timbunan yang dikehendaki, cari penurunan konsolidasi, misalnya didapatkan penurunan konsolidasi =  $S_{ci}$ .
3. Cari  $H_{awal}$  dan  $H_{akhir}$  akibat  $q$  tersebut dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_{akhir} = q = (H_{awal} - S_c) \gamma_{sat} + S_c (\gamma_{sat} - 1)$$

$$\begin{aligned} q &= (H_{awal} \times \gamma_{sat} - S_c \times \gamma_{sat}) + (S_c \times \gamma_{sat} - S_c) \\ &= H_{awal} \times \gamma_{sat} - S_c \end{aligned}$$

$$\text{Jadi, } H_{awal\ i} = \frac{q_i + S_{ci}}{\gamma_{sat}} \quad (2.17)$$

$$H_{akhir} = H_{awal} - S_{ci} \quad (2.18)$$

4. Ulangi langkah-langkah di atas untuk  $q = 4 \text{ ton/m}^2$ ;  $6 \text{ ton/m}^2$ ;  $8 \text{ ton/m}^2$ ;  $10 \text{ ton/m}^2$ ; dst. Dapatkan pula harga-harga  $S_c$ ,  $H_{awal}$ , dan  $H_{akhir}$  yang bersesuaian.
5. Buat tabel yang berisi  $q_i$ ,  $S_{ci}$ ,  $H_{awal\ i}$ , dan  $H_{akhir\ i}$ .
6. Buat grafik hubungan antara  $H_{awal}$  dengan  $H_{akhir}$  ( $H_{awal} = H_{initial}$ ;  $H_{akhir} = H_{final}$ ). Buat pula grafik hubungan antara *settlement* dengan  $H_{final}$ .
7. Dari grafik hubungan antara  $H_{awal}$  dengan  $H_{akhir}$ , dapat dicari berapa saja ketinggian  $H_{awal}$  untuk  $H_{akhir}$  yang telah ditentukan.

## 2.7. Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Seperti yang telah dijelaskan dalam bab sebelumnya bahwa perbaikan tanah dasar yang dipilih adalah metode *preloading* dengan PVD. PVD merupakan salah satu material yang digunakan dalam upaya stabilisasi tanah. PVD diaplikasikan pada lahan *compressible soil* seperti lempung dan lempung kelanauan. Jenis tanah tersebut memiliki karakter butiran yang renggang satu sama lain dan jenuh air.

PVD terdiri dari 2 bagian, yaitu *core*/inti yang berfungsi untuk mempermudah air pori mengalir dari bawah ke atas dan *jacket*/filter yang berfungsi untuk melindungi dan menyaring material agar tidak bercampur dengan air pori seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. *Core*/inti PVD dibuat dari bahan *polypropylene* (PP) yang berbentuk sirip ikan (*fished*) dan menerus untuk mengalirkan air pori secara vertikal. *Core*/inti PVD harus cukup mampu menahan tekanan samping tanah, sehingga tetap mampu berfungsi untuk mengalirkan air pori secara vertikal tanpa terputus alirannya. *Jacket*/filter PVD dibuat dari bahan *Geotextile Polyester* (PET) *Nonwoven* yang mempunyai kemampuan terhadap adanya tarikan pada saat proses pemasangan PVD dan konsolidasi berlangsung. *Jacket*/filter PVD harus mampu melewatkan air pori semaksimal mungkin dan mampu menahan butiran tanah dengan ukuran sekecil mungkin. Selama masa konsolidasi berlangsung, *jacket*/filter PVD harus mampu menahan tekanan samping tanah dan cukup fleksibel mengikuti gerakan penurunan tanah, sehingga kapasitas pengaliran pada inti PVD tidak terganggu.



Gambar 2.12 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

Proses konsolidasi dapat dipercepat dengan memperpendek jalan aliran air pori. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan PVD yang ditancapkan ke dalam tanah sampai kedalaman yang dapat terkompresi. Pemberian beban pada tanah yang akan dikonsolidasi menyebabkan butiran tanah terkompresi dan air pori berlebih mencari jalan untuk ke luar. Air pori berlebih tersebut akan mencari jalan terpendek untuk ke luar, yaitu dengan melalui PVD. PVD dapat mempercepat pencapaian konsolidasi tanah yang diinginkan. Jika

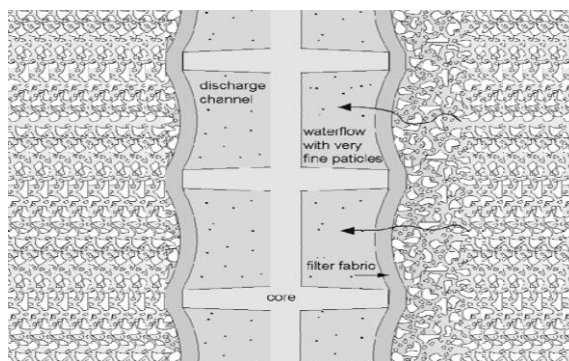
beban timbunan sulit untuk diperoleh, maka sistem vakum dapat digunakan sebagai pengganti beban tersebut.

Sekarang ini PVD sudah dipakai di berbagai proyek konstruksi. Metode kombinasi *preloading* dan PVD ini diaplikasikan seperti pada proyek:

- Konstruksi jalan, jalur kereta api, landasan pesawat, dan tanggul.
- Reklamasi lahan.
- Konstruksi pelabuhan.
- Lahan industri.
- Perkuatan tanah dasar timbunan, dll.

### 2.7.1. Cara Kerja PVD

*Core*/inti bekerja sebagai media pengaliran air pori secara vertikal dan *jacket*/filter bekerja sebagai penyaring air pori. Ketika dilakukan *preloading*, air pori yang terkompresi di dalam tanah akan masuk ke dalam PVD melalui pori-pori pada filter PVD. Selanjutnya, air pori tersebut masuk ke dalam sela-sela inti PVD. Setelah itu, air pori dialirkan ke luar dari tanah yang nantinya diteruskan oleh pori-pori dari material timbunan atau *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD). Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat secara detail melalui Gambar 2.13.



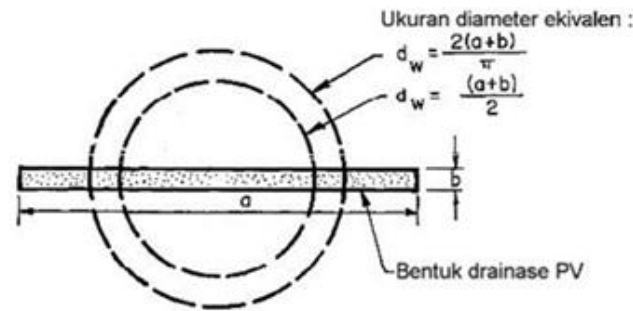
Gambar 2.13 Cara Kerja *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

### 2.7.2. Diameter Ekuivalen PVD ( $d_w$ )

Pita PVD yang berbentuk persegi diasumsikan dengan diameter ekuivalen PVD ( $d_w$ ) sebagai diameter lingkaran seperti pada Gambar 2.14. Untuk kondisi



umum,  $d_w$  dapat diasumsikan tidak terpengaruh oleh kondisi bawah permukaan akibat pemasangan dan sifat-sifat tanah, sehingga hanya merupakan fungsi dari bentuk (konfigurasi) dan geometri *drain*.



Gambar 2.14 Diameter Ekuivalen PVD ( $d_w$ ) (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004)

Untuk desain diameter ekuivalen dapat dihitung sebagai berikut:

$$d_w = (2(a+b) / \pi) \quad (2.19)$$

dengan  $a$  adalah lebar dari potongan melintang pita PVD (m) dan  $b$  adalah tebal dari potongan melintang pita PVD (m).

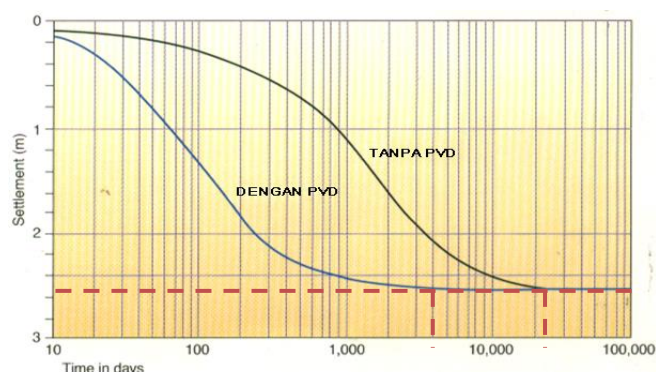
Persamaan 2.19 didasarkan pada asumsi praktis bahwa pita PVD dan lingkaran akan menghasilkan kinerja konsolidasi yang sama jika kelilingnya sama. Persamaan 2.19 disusun dengan anggapan bahwa bagian inti tidak menahan rembesan secara signifikan ke dalam saluran *drain*. Pengaruh tahanan akan terjadi bila bukaan inti pada saluran *drain* sangat kecil dan atau berjarak lebar, atau jika presentase yang tinggi dari luas filter berada dalam bidang kontak langsung dengan inti. Berdasarkan penelitian, Persamaan 2.19 dapat berlaku secara umum bila bagian dari luas keliling pita PVD memungkinkan aliran air masuk (tidak tertahan oleh inti *drain*) melebihi 10-20 % dari keliling total. Untuk jenis PVD pada umumnya, hal ini mudah diperoleh. Rembesan dalam lapisan antara bukaan ke saluran drainase, secara teoritis akan mengurangi pengaruh tahanan dari inti. Dengan menggunakan studi elemen, Persamaan 2.19 dimodifikasi menjadi Persamaan 2.20 sebagai berikut:

$$d_w = (a+b) / 2 \quad (2.20)$$

Persamaan 2.20 akan lebih memadai untuk desain pita PVD konvensional yang mempunyai rasio  $a/b$  kira-kira 50 atau lebih kecil dan lebih praktis dalam menentukan diameter ekivalen PVD. Untuk PVD yang digunakan secara umum,  $d_w$  berkisar antara 50 mm (2 in) sampai 75 mm (3 in).

### 2.7.3. Fungsi PVD

Kesulitan untuk mempercepat konsolidasi adalah pernyataan yang sering muncul dalam pikiran para kontraktor perencana. Hal ini dikarenakan mereka dituntut untuk segera menyelesaikan proyek sesuai jadwal yang telah ditetapkan dan menginginkan konsolidasi yang cepat dan optimal. Untuk itulah, PVD diciptakan. Karena dengan melakukan *preloading* dengan PVD, air pori yang terkompresi di dalam tanah akan masuk ke dalam PVD yang kemudian dialirkan ke luar. Itu juga sudah terbukti dengan grafik pada Gambar 2.15 bahwa dengan menggunakan PVD akan memperoleh waktu konsolidasi yang lebih cepat.

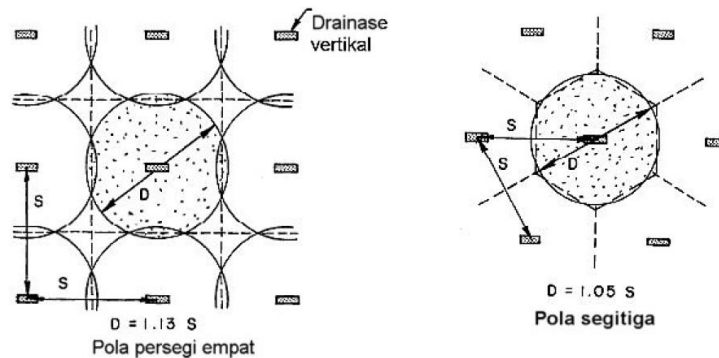


Gambar 2.15 Grafik Waktu Konsolidasi vs *Settlement* (PT Teknindo Geosistem Unggul, 2015)

### 2.7.4. Pola Pemasangan PVD

Hingga saat ini pemasangan PVD baru mengenal 2 pola, yaitu pola segitiga dan pola segiempat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. Pola segitiga mengacu pada bentuk pola pemasangan titik-titik PVD yang dipasang, sehingga membentuk pola segitiga, sedangkan pola segiempat mengacu pada bentuk pola pemasangan titik-titik PVD yang dipasang, sehingga bentuk pola berupa segiempat. Bila dilihat dari daerah cakupan drainase air tanah akibat

pemasangan PVD, pola segitiga sangat efektif digunakan karena daerah yang tercakup bisa hampir mendekati dengan daerah tangkap titik PVD yang lain, sehingga hanya menyisakan daerah tak terdrainase yang kecil. Apabila dibandingkan dengan pola segiempat, daerah yang tercakup menyisakan sisa luas yang masih besar, sehingga nantinya konsolidasi berjalan tidak maksimal.



Gambar 2.16 Pola Pemasangan PVD (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004)

Daerah tangkapan PVD pola segiempat dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_e = \frac{1}{4} \pi (1,13 \times S)^2 \quad (2.21)$$

Daerah tangkapan PVD pola segitiga dapat dihitung dengan persamaan:

$$A_e = \frac{1}{4} \pi (1,05 \times S)^2 \quad (2.22)$$

### 2.7.5. Waktu Konsolidasi dengan PVD

Perhitungan waktu konsolidasi dengan bantuan PVD dapat memungkinkan terjadinya alur air pori saat terjadinya kompresi seperti yang tampak pada Gambar 2.17.

Dengan menganggap koefisien konsolidasi arah horisontal melalui PVD adalah  $C_h$  dan jarak titik PVD adalah  $S$ , maka persamaan untuk waktu konsolidasi menggunakan PVD adalah:

$$t = \frac{T \times S^2}{C_h} \quad (2.23)$$

Di mana nilai dari  $C_h \approx 2-5 C_v$



Gambar 2.17 Konsolidasi dengan Menggunakan PVD

Sistem drainase vertikal telah dijelaskan oleh Barron (1948) berdasarkan teori aliran pasir vertikal yang menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi. Teori ini menetapkan hubungan antara waktu, diameter *drain*, jarak antara *drain*, koefisien konsolidasi dan rata-rata derajat konsolidasi. Penentuan waktu konsolidasi dari teori ini dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

$$t = \frac{D^2}{8 \times C_h} \times F(n) \times \ln \frac{1}{1 - U_h} \quad (2.24)$$

$$U_h = [1 - \exp(-x)] \times 100\% \quad (2.25)$$

$$x = \frac{8 \times C_h \times t}{D^2 \times F(n)} \quad (2.26)$$

Di mana:  $t$  = waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer

$D$  = diameter ekivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh *drain* vertikal

$C_h$  = koefisien konsolidasi tanah arah horisontal

$U_h$  = derajat konsolidasi tanah arah horisontal

Persamaan Barron di atas kemudian dikembangkan lagi oleh Hansbo (1979) untuk PVD. Teori Hansbo mendekati teori Barron, tetapi lebih disederhanakan dengan memasukkan dimensi fisik dan karakteristik dari PVD.

Fungsi  $F(n)$  merupakan fungsi hambatan akibat jarak antara titik pusat PVD. Oleh Hansbo (1979) harga  $F(n)$  didefinisikan sebagai berikut:

$$F(n) = \left( \frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[ \ln(n) - \frac{3}{4} - \left( \frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad (2.27)$$

Pada umumnya  $n > 20$ , sehingga dapat dianggap bahwa  $1/n = 0$  dan  $\left(\frac{n^2}{n^2-1^2}\right) \approx 1$ ,  
jadi:

$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4}$$

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \quad (2.28)$$

Di mana:  $d_w$  = diameter ekivalen dari PVD

Selain konsolidasi arah horisontal, juga terjadi konsolidasi arah vertikal,  $U_v$ . Harga  $U_v$  dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_v = \frac{t \times C_v}{(H_d)^2} \quad (2.29)$$

Di mana:  $T_v$  = faktor waktu

$t$  = waktu sembarang yang dipilih

$C_v$  = harga  $C_v$  tanah pada lapisan setebal panjang PVD

$H_d$  = panjang PVD

Harga  $U_v$  dicari dengan persamaan:

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}}\right) \times 100\% \quad (2.30)$$

Derajat konsolidasi rata-rata dapat dicari dengan cara:

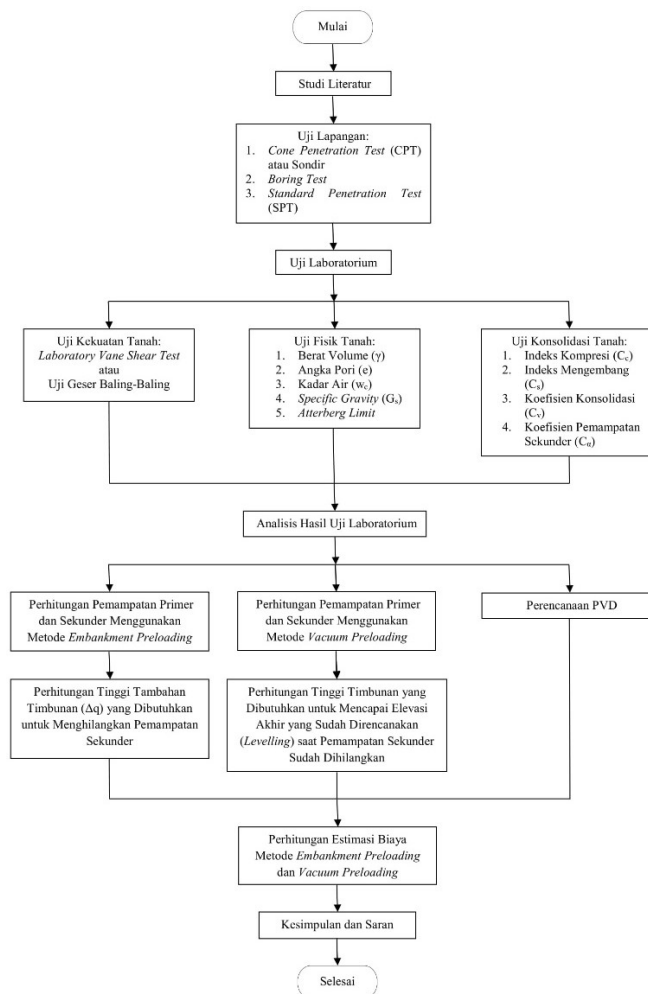
$$U_r = [1 - (1 - U_h) \times (1 - U_v)] \times 100\% \quad (2.31)$$

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penyelesaian Tesis

Berikut rincian pengerjaan tesis yang disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tesis

#### 3.2. Metode Penelitian

##### 3.2.1. Studi Literatur

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi dapat dicari dari buku, jurnal,

artikel, dan laporan penelitian yang sudah dibuat sebelumnya. Hasil dari studi literatur adalah terkumpulnya referensi yang relevan dengan perumusan masalah.

### 3.2.2. Uji Lapangan

Uji lapangan dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai kondisi dan karakteristik lapisan tanah dasar di suatu lokasi sebelum dilakukan perbaikan tanah. Uji lapangan yang dilakukan berupa *Cone Penetration Test* (CPT) atau tes sondir, *Boring Test* beserta dengan *Standard Penetration Test* (SPT) dengan bantuan PT Sho-Labo. Hasil uji lapangan dapat dilihat pada Lampiran 1. Pada Lampiran 1, disajikan hasil CPT sebanyak 2 titik, yaitu S-A dan S-B, serta SPT sebanyak 1 titik, yaitu BH-A, di mana titik-titik tersebut berdekatan dengan area sekitar perbaikan tanah dasar dengan *vacuum preloading* pada *cluster* Dyanti di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung.

### 3.2.3. Uji Kekuatan Tanah

Dari *Boring Test*, diperoleh sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dengan 5 kedalaman yang berbeda yang selanjutnya akan dilakukan uji laboratorium. Pertama, uji laboratorium yang dilakukan adalah *Laboratory Vane Shear Test* atau uji geser baling-baling (ASTM D-4648). Uji ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat geser tak terdrainase (*undrained*) dari suatu tanah ( $c_u$ ).

### 3.2.4. Uji Fisik Tanah

Selanjutnya, untuk mendapatkan parameter-parameter fisik tanah pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, dilakukan uji fisik tanah seperti uji volumetri dan gravimetri (ASTM D-854-72) yang terdiri dari:

- Berat volume ( $\gamma$ )
- Angka pori ( $e$ )
- Kadar air ( $w_c$ )
- *Specific Gravity* ( $G_s$ )

Uji fisik tanah yang dilakukan juga meliputi uji *Atterberg Limit* yang terdiri dari:

- Batas cair (LL) (ASTM D-423-66)

- Batas plastis (PL) (ASTM D-424-74)

### 3.2.5. Uji Konsolidasi Tanah

Setelah melakukan uji fisik tanah, selanjutnya dapat dilakukan uji konsolidasi tanah sesuai dengan ASTM D-2435-70. Tujuan uji konsolidasi tanah adalah untuk mengetahui indeks kompresi ( $C_c$ ), indeks mengembang ( $C_s$ ), koefisien konsolidasi ( $C_v$ ), dan koefisien pemampatan sekunder ( $C_\alpha$ ). Alat untuk uji konsolidasi tanah ini terdiri dari dua unit, yaitu konsolidometer dan *loading unit*. Konsolidometer yang dipakai terdiri dari cincin kuningan untuk tempat benda uji dan dua batu porus yang diletakkan di atas dan di bawah benda uji. Benda uji setinggi 2 cm dan dua batu porus yang sudah diletakkan di dalam cincin kuningan diameter 6,35 cm tersebut kemudian diletakkan pada plat dasar dari konsolidometer. Muatan kemudian diberikan secara bertingkat melalui *loading head* yang diletakkan di atas batu porus. Adapun uji konsolidasi tanah dilakukan secara bertahap dengan beban: 0,25; 0,5; 1; 2; 4 kg/cm<sup>2</sup> dengan waktu pembebanan 24 jam/tahap pembebanan.

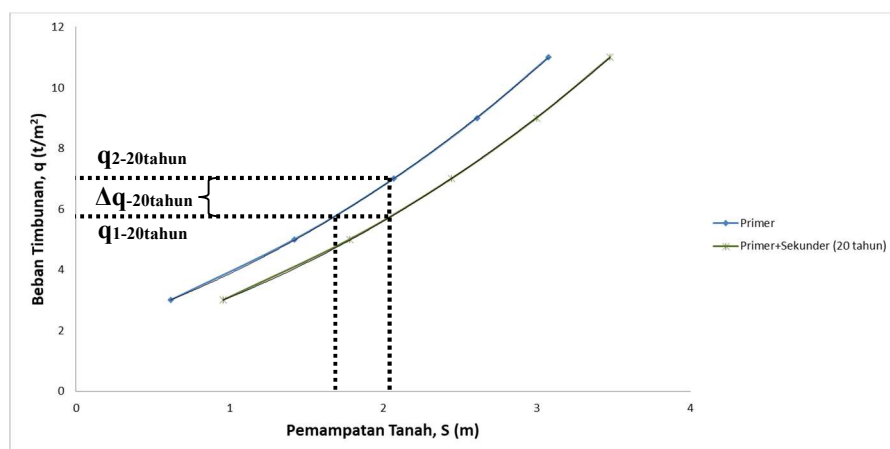
### 3.2.6. Analisis Hasil Uji Laboratorium

Tujuan dilakukan analisis hasil uji laboratorium adalah untuk mengetahui korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) dalam rangka membuat perumusan indeks pemampatan sekunder yang berguna untuk perhitungan pemampatan sekunder pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung. Analisis yang dilakukan berupa regresi eksponensial, linier, dan logaritmik untuk mendapatkan hasil korelasi yang *reliable*. Dari hasil regresi, akan didapatkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan koefisien korelasi ( $R$ ) antara dua variabel yang dicari hubungannya. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) berfungsi untuk mengetahui seberapa jauh variabel bebas (*independent variable*), X mampu menjelaskan pengaruhnya terhadap variabel terikat/tetap (*dependent variable*), Y. Sedangkan, koefisien korelasi ( $R$ ) berfungsi untuk mengetahui keeratan hubungan antara variabel bebas (*independent variable*), X dengan variabel terikat (*dependent variable*), Y. Nilai  $R^2$  dan  $R$  mendekati nilai 1 menunjukkan korelasi yang semakin kuat.



### 3.2.7. Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode *Embankment Preloading*

Seperti yang sudah dibahas pada Bab 1, dalam tesis ini, dilakukan studi mengenai cara menghilangkan pemampatan sekunder, yaitu dengan menghilangkannya bersamaan dengan pemampatan primer menggunakan metode *preloading*. Maka dari itu, perlu dilakukan perhitungan pemampatan primer dan sekunder terlebih dahulu. Pemampatan sekunder dihitung dengan waktu tinjau terjadinya pemampatan sekunder, yaitu 20 tahun sesuai dengan umur perbaikan bangunan (rumah) dengan waktu akhir pemampatan primer, yaitu 6 bulan (waktu selesainya pemampatan primer akibat pemasangan PVD). Dengan metode *embankment preloading*, perlu diketahui tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang harus ditambahkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Nilai  $\Delta q$  didapat dari selisih antara beban baru timbunan ( $q_2$ ) dengan beban timbunan ( $q_1$ ),  $\Delta q = q_2 - q_1$ . Beban timbunan ( $q_1$ ) yang awalnya memotong grafik pemampatan primer diteruskan hingga memotong grafik pemampatan total, yaitu pemampatan primer dan sekunder. Kemudian, tarik garis lurus ke atas hingga memotong grafik pemampatan primer dan tarik garis lurus ke kiri untuk mengetahui beban timbunan baru ( $q_2$ ) seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.2. Nilai  $\Delta q$  tersebut nantinya akan dibongkar setelah perbaikan tanah selesai, sehingga setelah *preloading* selesai, diharapkan sudah tidak ada lagi pemampatan primer maupun sekunder.



Gambar 3.2 Penambahan Beban Timbunan ( $\Delta q$ ) untuk Menghilangkan Pemampatan Sekunder

### **3.2.8. Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode *Vacuum Preloading***

Berbeda dengan metode *embankment preloading* yang membutuhkan banyak material timbunan, metode *vacuum preloading* menggunakan tekanan atmosfer sebagai beban tambahan (*surcharge load*) untuk mempercepat pemampatan tanah. Pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, *cluster* Dyanti akan dibangun untuk kawasan perumahan, di mana beban rumah ekuivalen dengan 10 kPa. Sedangkan, beban *vacuum* yang diterapkan pada proyek ini sebesar 74 kPa. Perbedaan beban sebesar 64 kPa tersebut dapat dikatakan sebagai beban tambahan (*surcharge load*) yang bisa menyebabkan pemampatan tanah lebih besar lagi yang diharapkan juga mencakup pemampatan sekunder, sehingga tidak diperlukan tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang harus ditambahkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Dengan metode *vacuum preloading* ini, yang perlu diketahui adalah tinggi timbunan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*) saat pemampatan sekunder sudah dihilangkan.

### **3.2.9. Perencanaan PVD**

Untuk mempercepat waktu pemampatan tanah, digunakan PVD yang dapat memperpendek aliran air pori tanah, yaitu dengan menciptakan aliran air arah horisontal. Setelah air pori tanah mencapai dasar timbunan, diteruskan oleh PHD ke pipa pembuangan yang disalurkan langsung ke pompa *vacuum* sehingga dapat mempercepat waktu pemampatan tanah serta menaikkan daya dukungnya. Dalam perencanaan ini, direncanakan jarak dan kedalaman PVD, serta waktu konsolidasi dengan menggunakan PVD. Kemudian, membuat grafik hubungan antara waktu konsolidasi dengan derajat konsolidasi.

### **3.2.10. Perhitungan Estimasi Biaya Metode *Embankment Preloading* dan *Vacuum Preloading***

Pada tesis ini, dilakukan pula perhitungan estimasi biaya material yang dibutuhkan untuk masing-masing metode perbaikan tanah dasar baik metode *embankment preloading* maupun *vacuum preloading*. Estimasi biaya meliputi

biaya timbunan tanah, PVD, dan sebagainya. Estimasi biaya dari kedua metode ini akan dibandingkan manakah metode perbaikan tanah dasar yang paling efektif dan ekonomis dalam menghilangkan pemampatan sekunder sekaligus bersamaan dengan pemampatan primer.

### **3.2.11. Kesimpulan dan Saran**

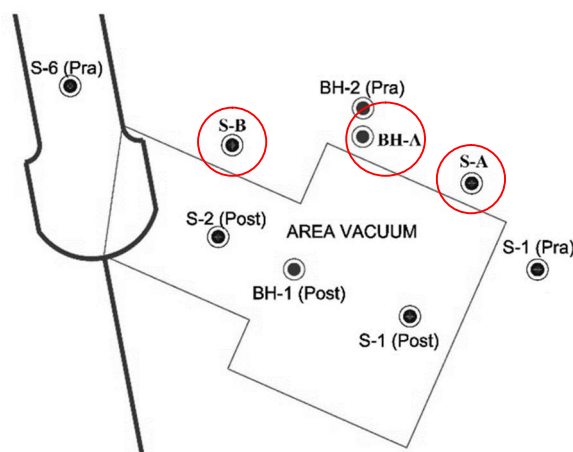
Pada tahap ini, merupakan proses untuk menarik kesimpulan dan saran dari apa saja yang dilakukan selama pengerjaan tesis. Dasar pengambilan kesimpulan dan saran di antaranya adalah hasil dari perumusan masalah dan pembahasannya.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Uji Lapangan

Uji lapangan berupa *Cone Penetration Test* (CPT) atau tes sondir sebanyak 2 titik, yaitu S-A dan S-B dan *Boring Test* beserta dengan *Standard Penetration Test* (SPT) sebanyak 1 titik, yaitu BH-A dilakukan pada titik-titik yang berdekatan dengan area sekitar perbaikan tanah dasar dengan *vacuum preloading* pada *cluster* Dyanti di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung. Denah lokasi titik-titik uji lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.1. Baik CPT maupun SPT, dilakukan hingga kedalaman 30 m. Hasil dari CPT menunjukkan bahwa tanah pada proyek ini adalah tanah dominan lanau kelempungan hingga kedalaman 20 m. Selanjutnya, terdapat lapisan pasir di atas kedalaman 22 m. Begitu juga dengan hasil dari SPT yang menunjukkan bahwa tanah yang dominan adalah tanah lanau kelempungan hingga mencapai kedalaman 26 m. Pada kedalaman di atas 26 m, terdapat lapisan pasir pula. Dari hasil kedua uji lapangan tersebut, dapat disimpulkan bahwa tebal tanah kompresibel (*compressible layer*) adalah setebal 20 m. Untuk lebih jelasnya, hasil dari CPT dan SPT dapat dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 4.1 Denah Lokasi Titik-Titik Uji Lapangan

## 4.2. Hasil Uji Laboratorium

Sampel tanah yang dipakai untuk uji laboratorium diambil dari lubang bor (*borehole*) pada BH-A. Sampel tanah yang diambil merupakan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) atau UDS yang berasal dari 5 kedalaman berbeda. Dari serangkaian uji laboratorium yang dilakukan, yaitu uji kekuatan, fisik, dan konsolidasi tanah, didapat parameter-parameter tanah yang tersaji pada Tabel 4.1a. Berdasarkan Tabel 4.1a, tanah pada proyek ini memiliki kadar air ( $w_c$ ) dan angka pori ( $e$ ) yang cukup besar dibandingkan dengan tanah lempung lunak pada umumnya. Hal ini dikarenakan adanya campuran tanah organik yang telah disebutkan pada Bab 1 yang berefek pada parameter tanah. Seperti yang telah diketahui bahwa tanah organik memiliki kadar air ( $w_c$ ) dan angka pori ( $e$ ) yang besar. Hasil uji laboratorium secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2 untuk uji fisik tanah dan Lampiran 3 untuk uji konsolidasi tanah.

Tabel 4.1a Hasil Uji Laboratorium

		UDS 1	UDS 2	UDS 3	UDS 4	UDS 5
Kedalaman	m	5-5,5	9-9,55	15-15,55	19-19,55	25-25,55
Konsistensi Tanah		Sangat Lunak	Sangat Lunak	Sangat Lunak	Lunak	Lunak
Kuat Geser <i>Undrained</i> , $c_u$	kPa	8,5	10	8	22	17
Berat Volume Jenuh, $\gamma_{sat}$	g/cm <sup>3</sup>	1,223	1,259	1,376	1,215	1,119
Angka Pori, $e_0$		3,966	5,313	2,939	4,992	5,709
Kadar Air, $w_c$	%	136,968	210,239	111,467	184,164	213,975
<i>Spesific Gravity</i> , $G_s$		2,562	2,562	2,562	2,562	2,562
Indeks Kompresi, $C_c$		1,514	2,282	1,647	3,016	3,199
Indeks Mengembang, $C_s$		0,175	0,170	0,147	0,348	0,287

Tabel 4.1a Hasil Uji Laboratorium (Lanjutan)

		UDS 1	UDS 2	UDS 3	UDS 4	UDS 5
Koefisien Konsolidasi, $C_v$	$\text{cm}^2/\text{det}$	$1,45 \times 10^{-3}$	$5,05 \times 10^{-4}$	$4,17 \times 10^{-4}$	$4,80 \times 10^{-4}$	$5,05 \times 10^{-4}$
Koefisien Pemampatan Sekunder, $C_\alpha$		0,087	0,032	0,031	0,029	0,048

Dari Tabel 4.1a di atas, dapat dilihat bahwa hasil uji laboratorium belum menampilkan hasil uji *Atterberg Limit*. Hal ini dikarenakan sampel tanah yang diambil terbatas, sehingga tidak mencukupi untuk melakukan uji *Atterberg Limit*. Jadi, untuk mengetahui batas-batas konsistensi tanah pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung; dalam hal ini batas-batas konsistensi tanah yang ditinjau adalah batas cair (LL) dan plastis (PL), maka diambil hasil uji *Atterberg Limit* pada tanah lain yang masih berlokasi di area Proyek Summarecon, Gedebage, Bandung. Hasil uji *Atterberg Limit* ini diperoleh dari PT Geotechnical Engineering Consultant (GEC) dan dapat dilihat pada Tabel 4.1b di bawah ini.

Tabel 4.1b Hasil Uji *Atterberg Limit*

	Kedalaman (m)	Batas Cair, LL (%)	Batas Plastis, PL (%)	Indeks Plastisitas, IP (%)
<b>Sampel 1</b>				
<b>1A</b>	24,5-25	96,01	60,70	35,31
<b>1B</b>	36,5-37	217,95	150,27	67,69
<b>1C</b>	46,5-47	80,71	43,67	37,04
<b>Sampel 2</b>				
<b>2A</b>	4,5-5	265,01	172,41	92,60
<b>2B</b>	14,5-15	120,01	82,07	37,94
<b>2C</b>	26,5-27	237,01	186,31	50,70

Tabel 4.1b Hasil Uji *Atterberg Limit* (Lanjutan)

	Kedalaman (m)	Batas Cair, LL (%)	Batas Plastis, PL (%)	Indeks Plastisitas, IP (%)
<b>Sampel 3</b>				
<b>3A</b>	2,5-3	69,24	51,36	17,88
<b>3B</b>	10,5-11	173,24	133,14	40,10
<b>3C</b>	36,5-37	55,21	43,45	11,76
<b>Sampel 4</b>				
<b>4A</b>	10,5-11	192,70	106,34	86,36
<b>4B</b>	18,5-19	169,70	106,42	63,28
<b>4C</b>	44,5-45	73,33	43,25	30,08

Sumber: PT Geotechnical Engineering Consultant (GEC) (2015)

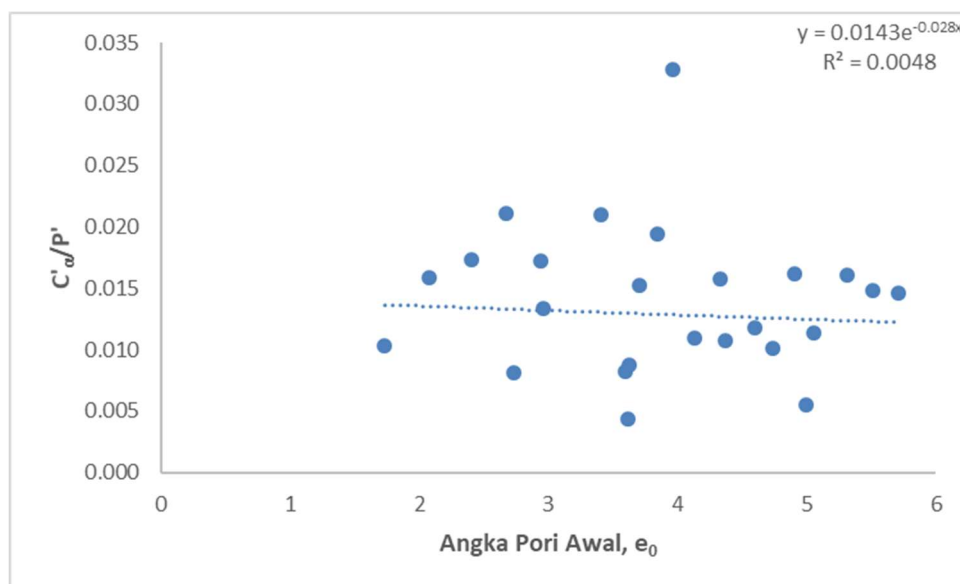
Berdasarkan Tabel 4.1b, sifat plastisitas tanah pada proyek ini cukup tinggi yang dapat dilihat dari nilai indeks plastisitasnya (IP). Nilai indeks plastisitas (IP) yang tinggi menunjukkan bahwa tanah mengandung banyak butiran lempung dan bersifat kohesif. Nilai indeks plastisitas (IP) yang tinggi juga mengindikasikan bahwa tanah tersebut peka terhadap perubahan kadar air ( $w_c$ ) dan dikhawatirkan mempunyai sifat kembang susut yang besar, serta besar pengaruhnya terhadap daya dukung atau kekuatan tanah.

#### 4.3. Analisis Hasil Uji Laboratorium

Setelah uji laboratorium telah dilakukan dan parameter-parameter tanah didapat, dilakukan analisis hasil uji laboratorium. Tujuan dilakukan analisis hasil uji laboratorium adalah untuk mengetahui korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) karena menurut Alihudien dan Mochtar (2009) serta Dhianty dan Mochtar (2018), pemampatan sekunder dipengaruhi oleh besarnya indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ), angka pori ( $e$ ), dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ). Oleh karena itu, dalam tesis ini dilakukan analisis mengenai korelasi antara 3 parameter tanah tersebut dalam rangka membuat perumusan indeks pemampatan sekunder yang berguna untuk perhitungan pemampatan sekunder pada Proyek Pembangunan Kawasan

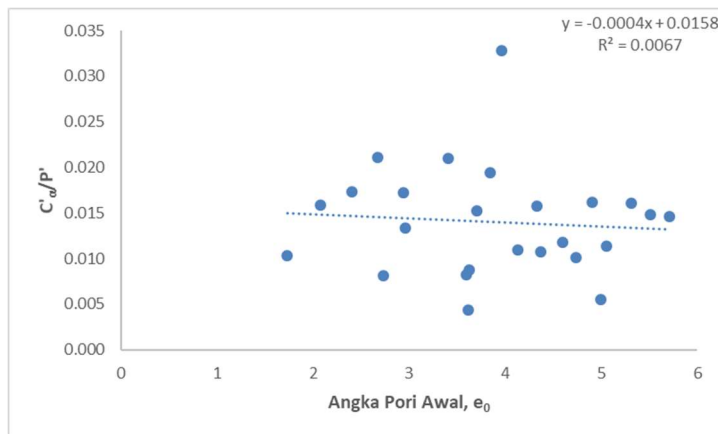
Kota Summarecon Bandung. Korelasi antar parameter-parameter tanah tersebut dicari dengan analisis berupa regresi eksponensial, linier, dan logaritmik untuk mendapatkan hasil korelasi yang *reliable*. Dalam analisis hasil uji laboratorium ini, digunakan hasil uji konsolidasi tanah. Uji konsolidasi tanah dilakukan dengan waktu pembebanan 24 jam/tahap pembebanan, di mana pembebanan berdasarkan LIR = 1 yaitu  $P' = 0,25; 0,5; 1; 2; 4 \text{ kg/cm}^2$ .

Analisis yang ditinjau adalah korelasi  $C'_a-e_0-P'$  dan  $C'_a-e_p-P'$ , di mana  $e_0$  adalah angka pori awal dan  $e_p$  adalah angka pori akhir konsolidasi primer. Indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ), didapat berdasarkan variasi tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ). Agar nilai  $C'_a$  menjadi satu kesatuan dalam analisis regresi terhadap nilai angka pori ( $e$ ), maka nilai  $C'_a$  dibagi  $P'$ , sehingga menjadi rasio antara indeks pemampatan sekunder dengan tegangan konsolidasi efektif ( $C'_a/P'$ ). Hasil regresi korelasi antara  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  dapat dilihat pada Gambar 4.2–4.7. Sedangkan, hasil korelasi antara  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  dapat dilihat pada Tabel 4.2.

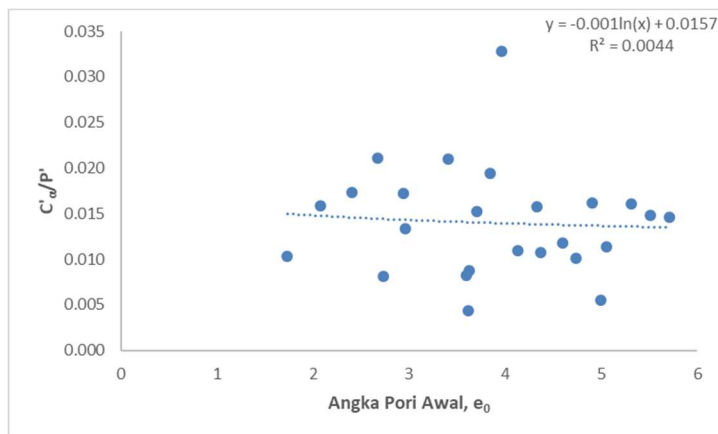


Gambar 4.2 Korelasi antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Eksponensial

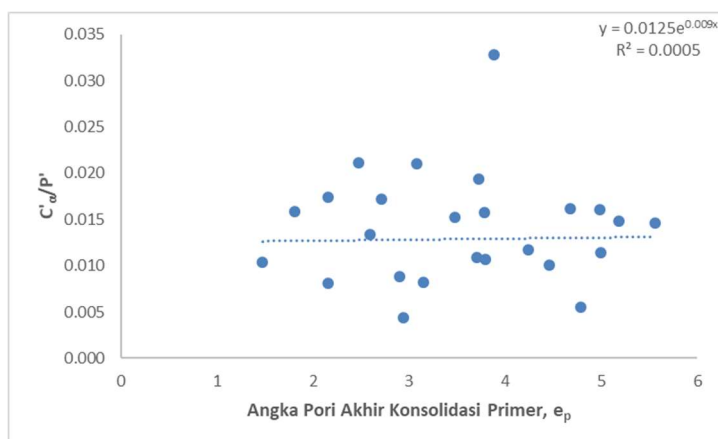




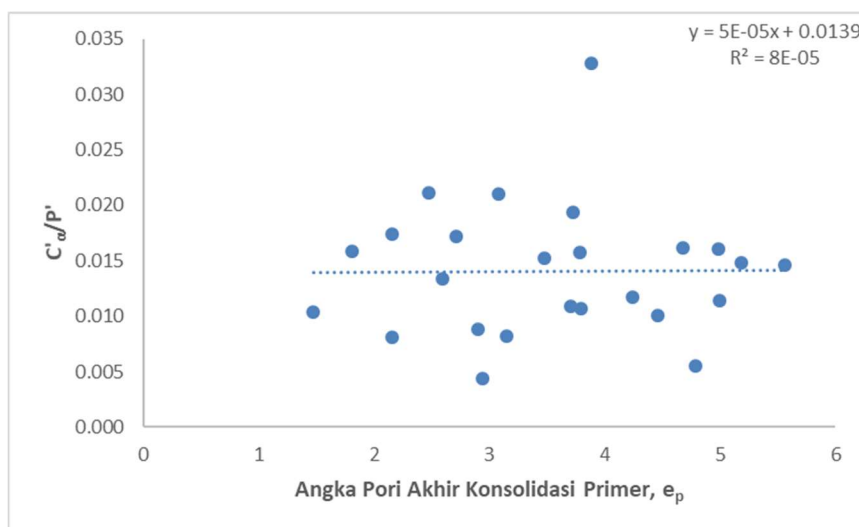
Gambar 4.3 Korelasi antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Linier



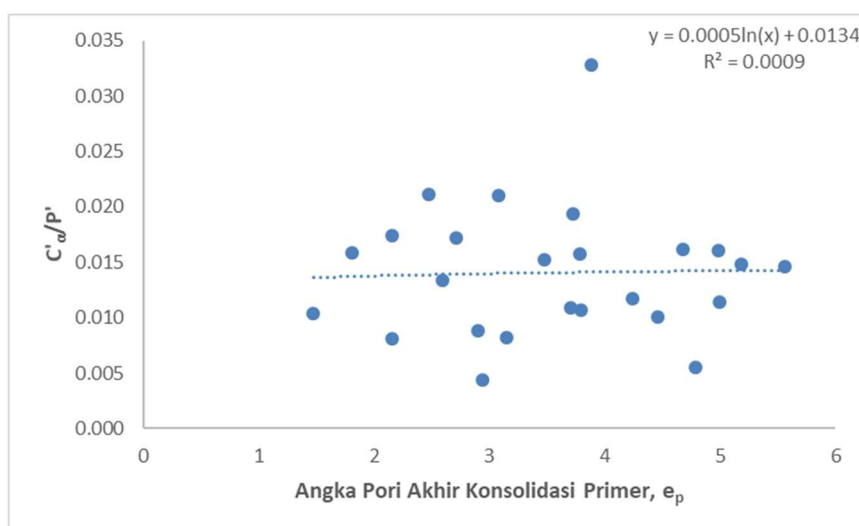
Gambar 4.4 Korelasi antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Logaritmik



Gambar 4.5 Korelasi antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Eksponensial



Gambar 4.6 Korelasi antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Linier



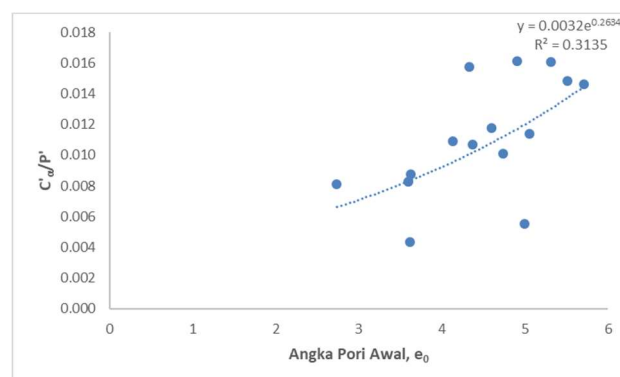
Gambar 4.7 Korelasi antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Logaritmik

Tabel 4.2 Korelasi antara Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_a$ ), Angka Pori ( $e$ ), dan Tegangan Konsolidasi Efektif ( $P'$ )

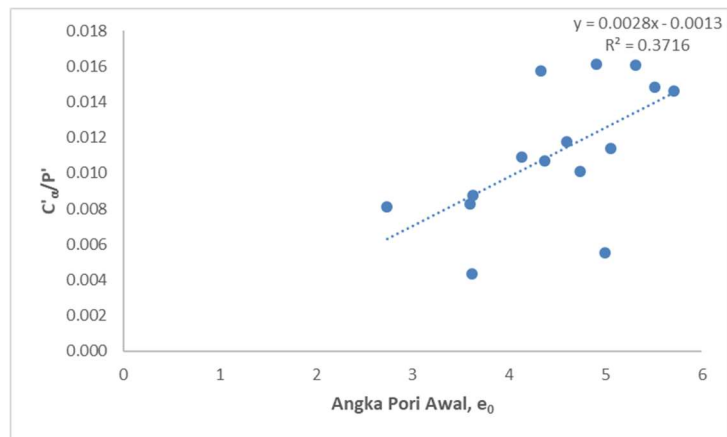
Korelasi	$R^2$	R	Regresi
$C'_a = (0,0143 \exp^{-0,028 e_0}) P'$	0,0048	0,069	Ekspensial
$C'_a = (-0,0004 e_0 + 0,0158) P'$	0,0067	0,082	Linier
$C'_a = (-0,001 \ln(e_0) + 0,0157) P'$	0,0044	0,066	Logaritmik
$C'_a = (0,0125 \exp^{0,009 e_p}) P'$	0,0005	0,022	Ekspensial
$C'_a = (0,00005 e_p + 0,0139) P'$	0,00008	0,009	Linier
$C'_a = (0,0005 \ln(e_p) + 0,0134) P'$	0,0009	0,030	Logaritmik

Dari hasil regresi korelasi antara  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  yang ditampilkan pada Gambar 4.2–4.7 dan Tabel 4.2, terlihat bahwa 3 parameter tanah tersebut belum bisa menunjukkan suatu korelasi. Hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang sangat kecil, yaitu berkisar antara 0,00008-0,0067 yang artinya 0,008%-0,67% angka pori awal ( $e_0$ ) dan angka pori akhir konsolidasi primer ( $e_p$ ) tidak dapat menjelaskan pengaruhnya terhadap rasio antara indeks pemampatan sekunder dengan tegangan konsolidasi efektif ( $C'_a/P'$ ), serta nilai koefisien korelasi ( $R$ ) yang sangat kecil pula, yaitu berkisar antara 0,009-0,082 yang menunjukkan nilai yang sangat jauh dari 1, artinya bahwa  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  memiliki korelasi yang sangat lemah, bahkan dapat dikatakan tidak mempunyai korelasi.

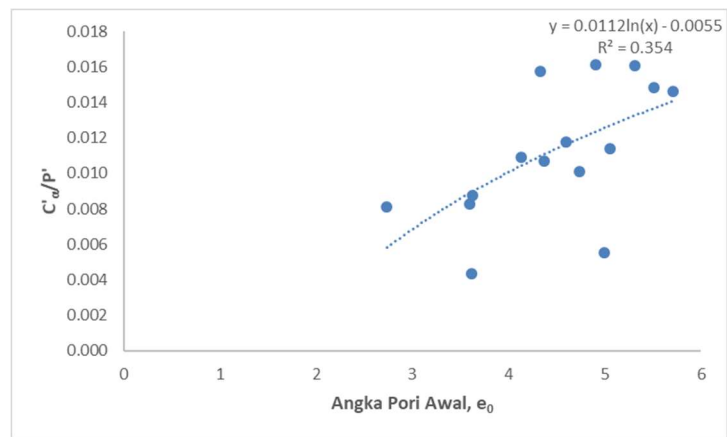
Lemahnya korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) diakibatkan oleh data yang tidak cukup banyak dan tidak berkelompok atau tersebar, sehingga cukup susah untuk ditemukan korelasinya. Alternatifnya adalah mereduksi atau membuang data yang sekiranya keluar dari kelompok. Selanjutnya, dilakukan kembali analisis regresi terhadap nilai angka pori ( $e_0$ ) dan rasio antara indeks pemampatan sekunder dengan tegangan konsolidasi efektif ( $C'_a/P'$ ). Hasil regresi korelasi antara  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  yang baru dapat dilihat pada Gambar 4.8–4.13. Sedangkan, hasil korelasi antara  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  dapat dilihat pada Tabel 4.3.



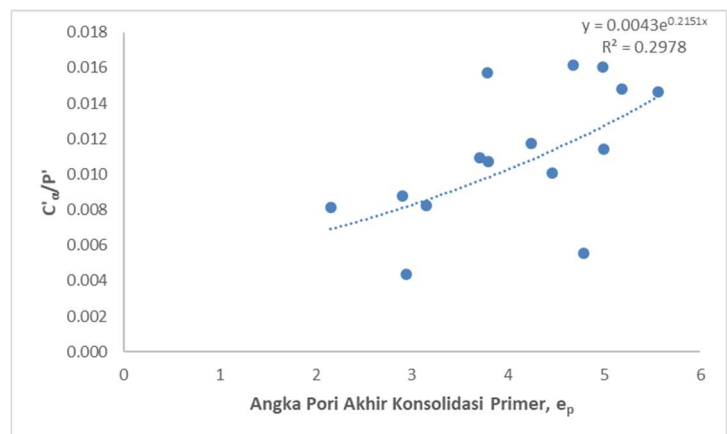
Gambar 4.8 Korelasi Baru antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Eksponensial



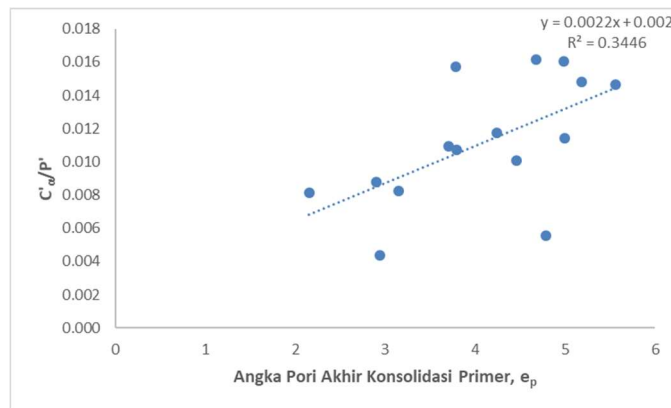
Gambar 4.9 Korelasi Baru antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan  $C'_v/P'$  Regresi Linier



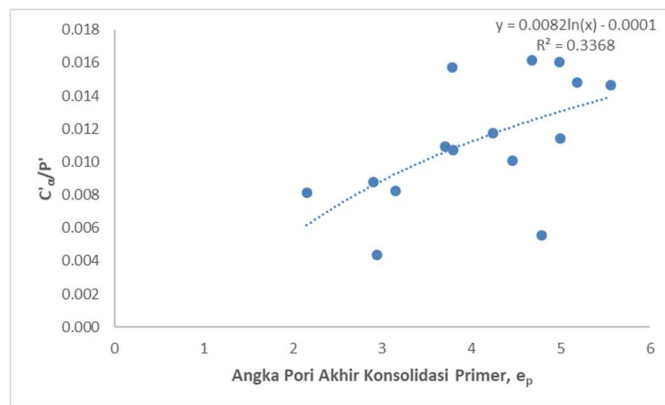
Gambar 4.10 Korelasi Baru antara Angka Pori Awal ( $e_0$ ) dengan  $C'_v/P'$  Regresi Logaritmik



Gambar 4.11 Korelasi Baru antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan  $C'_v/P'$  Regresi Eksponensial



Gambar 4.12 Korelasi Baru antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Linier



Gambar 4.13 Korelasi Baru antara Angka Pori Akhir Konsolidasi Primer ( $e_p$ ) dengan  $C'_a/P'$  Regresi Logaritmik

Tabel 4.3 Korelasi Baru antara Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_a$ ), Angka Pori ( $e$ ), dan Tegangan Konsolidasi Efektif ( $P'$ )

Korelasi	$R^2$	R	Regresi
$C'_a = (0,0032 \exp^{0,2634 e_0}) P'$	0,3135	0,560	Ekspensial
$C'_a = (0,0028 e_0 - 0,0013) P'$	0,3716	0,610	Linier
$C'_a = (0,0112 \ln(e_0) - 0,0055) P'$	0,3540	0,595	Logaritmik
$C'_a = (0,0043 \exp^{0,2151 e_p}) P'$	0,2978	0,546	Ekspensial
$C'_a = (0,0022 e_p + 0,002) P'$	0,3446	0,587	Linier
$C'_a = (0,0082 \ln(e_p) - 0,0001) P'$	0,3368	0,580	Logaritmik

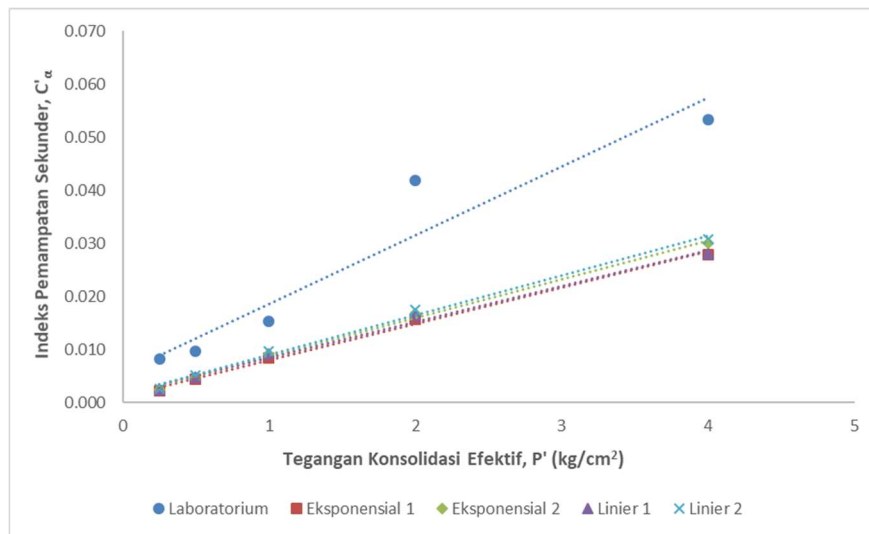
Hasil regresi korelasi baru antara  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  didapat dengan mereduksi atau membuang data angka pori awal ( $e_0$ ) dan angka pori akhir konsolidasi primer ( $e_p$ ) yang bernilai kurang dari 2 dan rasio antara indeks pemampatan sekunder dengan tegangan konsolidasi efektif ( $C'_a/P'$ ) yang

bernilai lebih dari 0,016. Berdasarkan Gambar 4.8–4.13 dan Tabel 4.3, terlihat bahwa 3 parameter tanah tersebut sudah bisa menunjukkan suatu korelasi, yaitu semakin besar nilai angka pori awal ( $e_0$ ) maupun angka pori akhir konsolidasi primer ( $e_p$ ), maka semakin besar nilai  $C'_a/P'$ , namun masih lemah. Hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang kecil, yaitu berkisar antara 0,2978-0,3716 yang artinya 29,78%-37,16% angka pori awal ( $e_0$ ) dan angka pori akhir konsolidasi primer ( $e_p$ ) dapat menjelaskan pengaruhnya terhadap rasio antara indeks pemampatan sekunder dengan tegangan konsolidasi efektif ( $C'_a/P'$ ) dan sisanya dijelaskan dominan oleh variabel lain, serta nilai koefisien korelasi ( $R$ ) yang masih dapat dikatakan kecil pula, yaitu berkisar antara 0,546-0,610 yang menunjukkan nilai cukup jauh dari 1, artinya bahwa  $C'_a/P'$  dengan  $e_0$  dan  $C'_a/P'$  dengan  $e_p$  memiliki korelasi yang belum cukup kuat.

Untuk mengetahui validitas dari korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ), maka nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) dari korelasi hasil regresi yang telah disajikan pada Tabel 4.3 akan dibandingkan dengan nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) dari uji laboratorium. Perbandingan nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) tersebut, dapat dilihat pada Tabel 4.4 yang selanjutnya dapat dibuat grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.14 agar dapat melihat lebih jelas perbandingannya.

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_a$ ) Hasil dari Uji Laboratorium dengan Hasil Regresi

$P'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
$e_0$	3,966	3,846	3,700	3,409	2,960
$e_p$	3,885	3,725	3,479	3,080	2,590
<b><math>C'_a</math></b>					
Laboratorium	0,0082	0,0097	0,0153	0,0419	0,0534
Eksponensial 1	0,0023	0,0044	0,0085	0,0157	0,0279
Eksponensial 2	0,0025	0,0048	0,0091	0,0167	0,0300
Linier 1	0,0025	0,0047	0,0091	0,0165	0,0280
Linier 2	0,0026	0,0051	0,0097	0,0176	0,0308



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Nilai Indeks Pemampatan Sekunder ( $C'_\alpha$ ) Hasil dari Uji Laboratorium dengan Hasil Regresi

Berdasarkan Tabel 4.4 dan Gambar 4.14, hasil regresi eksponensial dan linier pada korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) menghasilkan nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) yang hampir sama satu sama lain. Eksponensial 1 dan linier 1 merupakan fungsi dari angka pori awal ( $e_0$ ), sedangkan eksponensial 2 dan linier 2 merupakan fungsi dari angka pori akhir konsolidasi primer ( $e_p$ ). Namun, hasil regresi logaritmik tidak ditampilkan dikarenakan menghasilkan nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) yang tidak logis. Apabila dibandingkan dengan hasil uji laboratorium, nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) baik dari hasil regresi eksponensial maupun linier cukup jauh berbeda. Hal dikarenakan korelasi dari hasil regresi eksponensial dan linier memiliki nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan koefisien korelasi ( $R$ ) yang belum cukup kuat, sehingga belum bisa mempertanggungjawabkan keeratan hubungan antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) dengan angka pori ( $e$ ) dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ). Oleh karena itu, nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) yang digunakan untuk perhitungan pemampatan sekunder pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung adalah nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) yang didapat dari uji laboratorium.

#### 4.4. Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode *Embankment Preloading*

Perhitungan pemampatan dilakukan hingga kedalaman 20 m, sesuai dengan tebal tanah kompresibel (*compressible layer*) yang diketahui dari hasil uji lapangan dengan parameter-parameter tanah yang tersaji pada Tabel 4.1. Geometri timbunan yang dipakai adalah geometri timbunan yang sudah direncanakan pada *cluster* Dyanti dengan tinggi akhir timbunan ( $H_f$ ) setinggi 3 m dan lebar timbunan (B) selebar 58 m yang dapat dilihat pada Gambar 1.3. Material timbunan diasumsikan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Kemiringan (*slope*) = 1:2
- Sudut geser dalam ( $\phi$ ) =  $30^\circ$
- Kohesi (c) = 0
- Berat volume,  $\gamma_t$  = 1,7 t/m<sup>3</sup>
- Berat volume jenuh,  $\gamma_{sat}$  = 1,7 t/m<sup>3</sup>

Perhitungan pemampatan dilakukan dengan asumsi tanah dasar pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung sebagai tanah *over consolidated*. Proyek ini berlokasi di daerah Gedebage, di mana menurut Tohari et al. (2015), daerah tersebut terletak di wilayah cekungan Bandung (lintasan Gedebage-Bojongsoang-Solokanjeruk-Majalaya) yang berlokasi di pinggir aliran sungai, sehingga material tanah menjadi lebih padat akibat proses pengendapan yang berlangsung terus menerus. Desiani dan Rahardjo (2017) juga mengatakan bahwa daerah Gedebage adalah daerah dataran di Kota Bandung yang tanah dasarnya berupa endapan tanah lunak. Endapan ini disebabkan oleh sejarah geologinya dan fakta bahwa tanah lunak Bandung adalah endapan danau. Kota Bandung juga dikelilingi oleh gunung berapi, di mana beberapa tanah lunak juga terbentuk dari endapan batuan andesit vulkanik akibat erupsi gunung berapi, salah satunya adalah Tangkuban Perahu (van Bemmelen, 1949). Oleh karena itu, tanah diindikasikan telah termampatkan berlebih (*over consolidated*) akibat dari proses pengendapan.

Perhitungan pemampatan terdiri dari perhitungan pemampatan primer dan sekunder. Pemampatan primer ( $S_c$ ) dihitung berdasarkan asumsi beberapa harga q

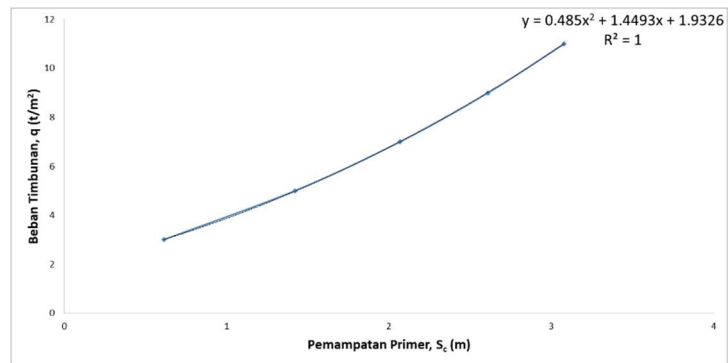


yang telah dijelaskan pada Sub-Bab 2.6 dan dihitung menggunakan Persamaan 2.10. Harga  $q$  adalah beban timbunan tanah setelah tanah mengalami pemampatan. Dari perhitungan pemampatan primer ( $S_c$ ), diperoleh tinggi awal timbunan atau *initial height* ( $H_i$ ) menggunakan Persamaan 2.17 dan tinggi akhir timbunan atau *final height* ( $H_f$ ) menggunakan Persamaan 2.18. Sedangkan, pemampatan sekunder ( $S_s$ ) dihitung berdasarkan waktu tinjau terjadinya pemampatan sekunder, yaitu 20 tahun dengan waktu akhir pemampatan primer, yaitu 6 bulan (waktu selesainya pemampatan primer akibat pemasangan PVD). Pemampatan sekunder ( $S_s$ ) dihitung menggunakan Persamaan 2.13 dengan koefisien pemampatan sekunder ( $C_\alpha$ ) yang tersaji pada Tabel 4.1a dan indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) yang dihitung menggunakan Persamaan 2.14. Rekap perhitungan primer ( $S_c$ ), tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) dan akhir timbunan ( $H_f$ ) akibat pemampatan primer, serta pemampatan sekunder ( $S_s$ ) tersaji pada Tabel 4.5. Untuk perhitungan lengkap pemampatan primer ( $S_c$ ) dan sekunder ( $S_s$ ) dapat dilihat pada Lampiran 4.

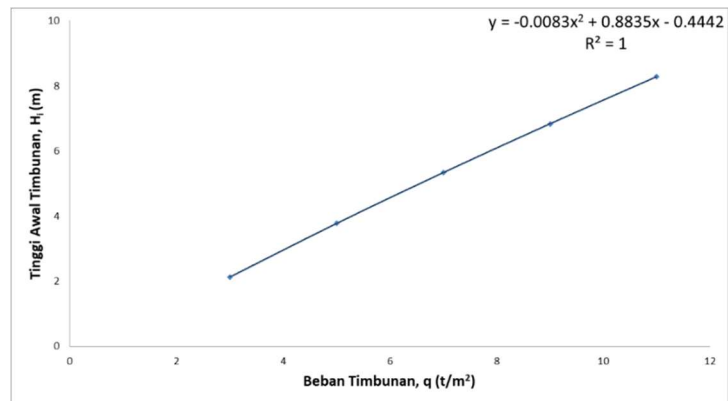
Tabel 4.5 Rekap Perhitungan Pemampatan Primer ( $S_c$ ), Tinggi Awal Timbunan ( $H_i$ ) dan Akhir Timbunan ( $H_f$ ) akibat Pemampatan Primer, serta Pemampatan Sekunder ( $S_s$ )

$q$ ( $t/m^2$ )	$S_c$ (m)	$H_i$ (m)	$H_f$ (m)	$S_s$ (m)
3	0,616	2,127	1,511	0,344
5	1,423	3,778	2,355	0,361
7	2,069	5,335	3,266	0,376
9	2,611	6,380	4,219	0,389
11	3,077	8,281	5,203	0,400

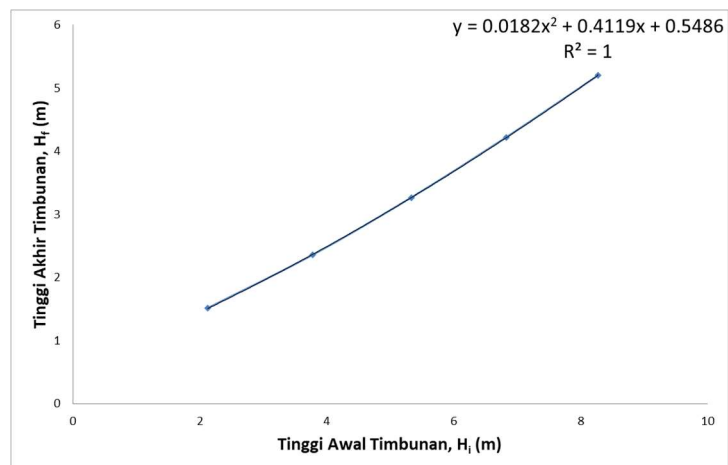
Dari Tabel 4.5, dapat dibuat hubungan antara pemampatan primer ( $S_c$ ) dengan beban timbunan ( $q$ ) dalam bentuk grafik seperti yang terdapat pada Gambar 4.15, hubungan antara beban timbunan ( $q$ ) dengan tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) pada Gambar 4.16, begitu pula dengan hubungan tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) dan tinggi akhir timbunan ( $H_f$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.15 Grafik Hubungan antara Pemampatan Primer ( $S_c$ ) dengan Beban Timbunan ( $q$ )



Gambar 4.16 Grafik Hubungan antara Beban Timbunan ( $q$ ) dengan Tinggi Awal Timbunan ( $H_i$ )



Gambar 4.17 Grafik Hubungan antara Tinggi Awal Timbunan ( $H_i$ ) dengan Tinggi Akhir Timbunan ( $H_f$ )

#### 4.4.1. Perhitungan Tinggi Tambahan Timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang Dibutuhkan untuk Menghilangkan Pemampatan Sekunder

Dalam tesis ini, dilakukan studi mengenai cara menghilangkan pemampatan sekunder, yaitu dengan menghilangkannya bersamaan dengan pemampatan primer menggunakan metode *preloading*. Cara ini didasari oleh studi sebelumnya, Alihudien dan Mochtar (2009) yang menyatakan bahwa indeks pemampatan sekunder ( $C'_\alpha$ ) dipengaruhi oleh tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ). Semakin besar tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ), maka semakin besar indeks pemampatan sekundernya ( $C'_\alpha$ ), sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan tegangan ( $\Delta P$ ) mempengaruhi besar pemampatan sekunder. Adapun menurut Mesri (1973), Koutsoftas et al. (1987), Ladd (1994), serta Yu dan Frizzy (1994), deformasi kompresi sekunder berkurang secara signifikan ketika tanah mengalami pemampatan berlebih (*over consolidated*) hingga tingkat sedang, menunjukkan bahwa penggunaan beban tambahan *preload* yang lebih besar daripada beban timbunan/struktur akhir merupakan metode yang efektif dalam mengurangi pemampatan sekunder. Alonso, Gens, dan Lloret (2000) juga mengungkapkan bahwa adanya penurunan yang signifikan pada koefisien pemampatan sekunder ( $C_\alpha$ ) dengan peningkatan rasio over konsolidasi (OCR), sehingga prekonsolidasi tanah (*preloading*) adalah cara yang efektif untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Metode *preloading* yang akan dibahas pertama adalah metode *embankment preloading*. Dengan metode *embankment preloading* ini, perlu diketahui tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) sebagai penambahan tegangan ( $\Delta P$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Nilai  $H_{\Delta q}$  tersebut nantinya akan dibongkar setelah perbaikan tanah dasar dengan menggunakan metode *preloading* selesai, sehingga diharapkan sudah tidak ada lagi pemampatan primer maupun sekunder.

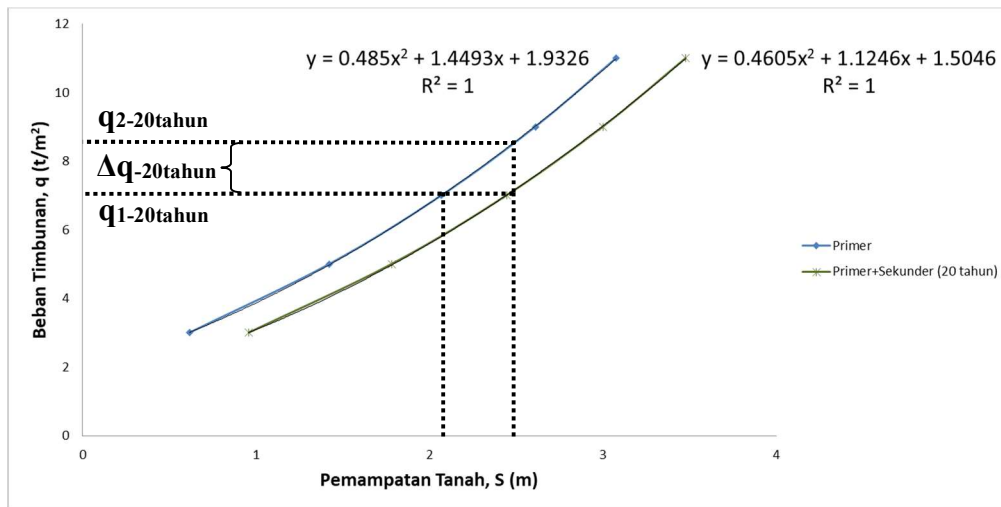
Langkah-langkah untuk menghilangkan pemampatan primer sekaligus sekunder dengan metode *embankment preloading* dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan pemampatan primer ( $S_c$ ) dan sekunder ( $S_s$ ) sesuai dengan variasi beban timbunan ( $q$ ) yang ditentukan seperti yang sudah disajikan pada Tabel 4.5.

2. Melakukan perhitungan tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) dan akhir timbunan ( $H_f$ ) akibat pemampatan primer seperti pada Tabel 4.5 pula.
3. Membuat grafik hubungan antara pemampatan tanah ( $S$ ) dengan beban timbunan ( $q$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 4.18. Grafik ini terdiri dari dua grafik, yaitu grafik pemampatan primer ( $S_c$ ) dan total (pemampatan primer ditambah dengan sekunder) ( $S_t$ ).
4. Membuat grafik hubungan antara beban timbunan ( $q$ ) dengan tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) akibat pemampatan primer seperti pada Gambar 4.16.
5. Membuat grafik hubungan antara tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) dengan tinggi akhir timbunan ( $H_f$ ) akibat pemampatan primer seperti pada Gambar 4.17.
6. Melakukan perhitungan beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) yang harus ditambahkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder pada grafik hubungan antara pemampatan tanah ( $S$ ) dengan beban timbunan ( $q$ ) yang terdapat pada Gambar 4.18. Pada Gambar 4.18, nilai  $\Delta q$  didapat dari selisih antara beban baru timbunan ( $q_2$ ) dengan beban timbunan ( $q_1$ ),  $\Delta q = q_2 - q_1$ . Beban timbunan ( $q_1$ ) yang awalnya memotong grafik pemampatan primer diteruskan hingga memotong grafik pemampatan total, yaitu pemampatan primer dan sekunder. Kemudian, tarik garis lurus ke atas hingga memotong grafik pemampatan primer dan tarik garis lurus ke kiri untuk mengetahui beban timbunan baru ( $q_2$ ).
7. Melakukan perhitungan tinggi awal timbunan baru yang merupakan akibat dari gabungan pemampatan primer dan sekunder ( $H_{i(p+s)}$ ). Perhitungan dilakukan dengan cara memasukkan beban timbunan baru ( $q_2$ ) ke dalam persamaan pada grafik hubungan antara beban timbunan ( $q$ ) dengan tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) pada Gambar 4.16 untuk mendapatkan tinggi awal timbunan baru ( $H_{i(p+s)}$ ).
8. Melakukan perhitungan tinggi akhir timbunan baru setelah tanah mengalami pemampatan primer dan sekunder ( $H_{f(p+s)}$ ). Perhitungan dilakukan dengan cara memasukkan tinggi awal timbunan baru ( $H_{i(p+s)}$ ) ke dalam persamaan pada grafik hubungan antara tinggi awal

timbunan ( $H_i$ ) dengan tinggi akhir timbunan ( $H_f$ ) pada Gambar 4.17 untuk mendapatkan tinggi akhir timbunan baru ( $H_{f(p+s)}$ ).

9. Tinggi akhir timbunan baru ( $H_{f(p+s)}$ ) tersebut masih harus dilakukan pembongkaran terhadap beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) yang dipakai untuk menghilangkan pemampatan sekunder dan beban layanan ( $q_{\text{layanan}}$ ) atau beban yang sebenarnya akan diterima oleh tanah dasar pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, yaitu beban rumah yang ekuivalen dengan 10 kPa. Oleh karena itu, tinggi akhir timbunan di lapangan setelah terjadi pemampatan primer dan sekunder ( $H_{f(\text{lap})}$ ) adalah  $H_{f(\text{lap})} = H_{f(p+s)} - (\Delta q + q_{\text{layanan}} / \gamma_{\text{timbunan}})$ . Rekap perhitungan seluruh langkah-langkah untuk menghilangkan pemampatan primer sekaligus sekunder dengan metode *embankment preloading*, dapat dilihat pada Tabel 4.6.



Gambar 4.18 Grafik Hubungan antara Pemampatan Tanah (S) dengan Beban Timbunan (q)

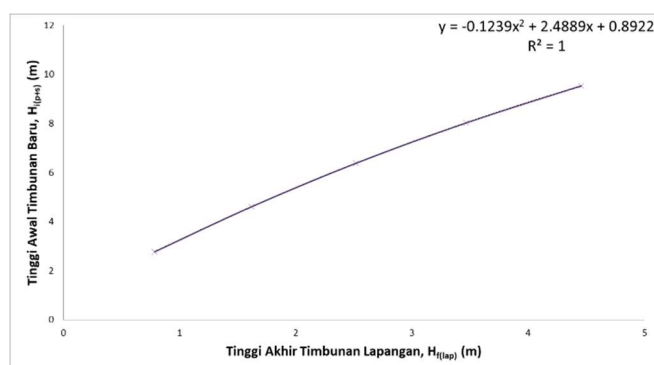
Tabel 4.6 Rekap Perhitungan Tinggi Awal Timbunan Baru ( $H_{i(p+s)}$ ) dan Akhir Timbunan Baru ( $H_{f(p+s)}$ ) akibat Pemampatan Primer dan Sekunder, serta Tinggi Akhir Timbunan Lapangan ( $H_{f(\text{lap})}$ )

Waktu (tahun)	$q_1$ (t/m <sup>2</sup> )	$S_t$ (m)	$q_2$ (t/m <sup>2</sup> )	$\Delta q$ (t/m <sup>2</sup> )	$q_{\text{layanan}}$ (t/m <sup>2</sup> )	$H_{\text{bongkar Total}}$ (m)	$H_{i(p+s)}$ (m)	$H_{f(p+s)}$ (m)	$H_{f(\text{lap})}$ (m)
20	3	0,960	3,771	0,771	1	1,042	2,769	1,829	0,787

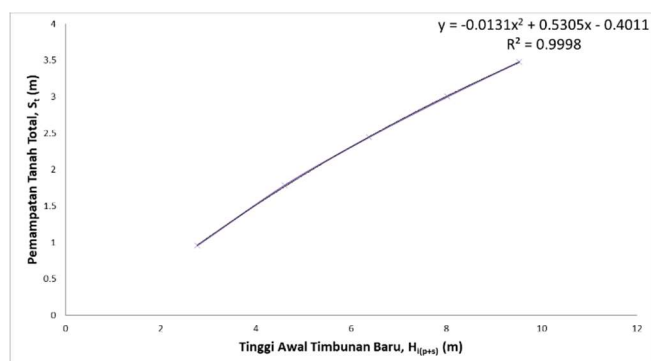
Tabel 4.6 Rekap Perhitungan Tinggi Awal Timbunan Baru ( $H_{i(p+s)}$ ) dan Akhir Timbunan Baru ( $H_{f(p+s)}$ ) akibat Pemampatan Primer dan Sekunder, serta Tinggi Akhir Timbunan Lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) (Lanjutan)

Waktu (tahun)	$q_1$ (t/m <sup>2</sup> )	$S_t$ (m)	$q_2$ (t/m <sup>2</sup> )	$\Delta q$ (t/m <sup>2</sup> )	$q_{layanan}$ (t/m <sup>2</sup> )	$H_{bongkar}$ Total (m)	$H_{i(p+s)}$ (m)	$H_{f(p+s)}$ (m)	$H_{f(lap)}$ (m)
20	5	1,784	6,061	1,061	1	1,213	4,606	2,832	1,619
	7	2,445	8,376	1,376		1,398	6,374	3,913	2,516
	9	3,000	10,644	1,644		1,555	8,019	5,022	3,467
	11	3,478	12,839	1,839		1,670	9,531	6,128	4,458

Dari Tabel 4.6, dapat dibuat grafik hubungan antara tinggi akhir timbunan lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) dengan tinggi awal timbunan baru ( $H_{i(p+s)}$ ) yang terdapat pada Gambar 4.19 dan hubungan antara tinggi awal timbunan baru ( $H_{i(p+s)}$ ) dengan pemampatan tanah total ( $S_t$ ) yang terdapat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.19 Grafik Hubungan antara Tinggi Akhir Timbunan Lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) dengan Tinggi Awal Timbunan Baru ( $H_{i(p+s)}$ )



Gambar 4.20 Grafik Hubungan antara Tinggi Awal Timbunan Baru ( $H_{i(p+s)}$ ) dengan Pemampatan Tanah Total ( $S_t$ )

Grafik pada Gambar 4.19 dan 4.20 tersebut digunakan sebagai pedoman untuk menentukan tinggi timbunan awal ( $H_i$ ) *preloading* untuk menghilangkan pemampatan primer dan sekunder. Dengan mengeplotkan tinggi akhir timbunan lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) pada Gambar 4.19, maka akan didapat tinggi awal timbunan baru ( $H_{i(p+s)}$ ). Tinggi akhir timbunan lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) di sini merupakan tinggi timbunan yang didesain pada elevasi rencana di lapangan. Pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, tinggi akhir timbunan lapangannya ( $H_{f(lap)}$ ) setinggi 3 m, maka dengan menggunakan grafik pada Gambar 4.19, tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) yang harus ditimbun untuk menghilangkan pemampatan primer sekaligus sekunder adalah setinggi 7,2 m. Akibat dari timbunan setinggi 7,2 m, dengan grafik pada Gambar 4.20, maka tanah akan mengalami pemampatan total ( $S_t$ ) sebesar 2,8 m, dengan rincian pemampatan primer ( $S_c$ ) sebesar 2,4 m dan pemampatan sekunder ( $S_s$ ) 0,4 m. Berikut rincian perhitungan yang sudah dilakukan untuk menghilangkan pemampatan primer sekaligus sekunder sesuai dengan langkah-langkah yang sudah dijelaskan sebelumnya:

- Waktu pemampatan sekunder yang ditinjau = 20 tahun
- Beban timbunan ( $q_1$ ) = 8,096 t/m<sup>2</sup>
- Beban timbunan baru ( $q_2$ ) = 9,604 t/m<sup>2</sup>
- Beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) = 1,508 t/m<sup>2</sup>
- Beban layanan ( $q_{layanan}$ ) = 1 t/m<sup>2</sup>
- Pemampatan total ( $S_t$ ) = 2,8 m
- Tinggi bongkar total ( $H_{bongkar\ Total}$ ) = 1,4 m
- Tinggi awal timbunan baru ( $H_{i(p+s)}$ ) = 7,2 m
- Tinggi akhir timbunan baru ( $H_{f(p+s)}$ ) = 4,4 m
- Tinggi akhir timbunan lapangan ( $H_{f(lap)}$ ) = 3 m

Jadi, Pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder sebesar 1,508 t/m<sup>2</sup>. Beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) tersebut apabila dikonversikan dalam tinggi timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) ekuivalen dengan 0,9 m.

#### 4.5. Perhitungan Pemampatan Primer dan Sekunder Menggunakan Metode *Vacuum Preloading*

Metode *preloading* untuk menghilangkan pemampatan sekunder yang akan dibahas selanjutnya adalah metode *vacuum preloading*. Berbeda dengan metode *embankment preloading* yang membutuhkan banyak material timbunan, metode *vacuum preloading* menggunakan tekanan atmosfer sebagai beban tambahan (*surcharge load*) untuk mempercepat pemampatan tanah. Pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, *cluster* Dyanti akan dibangun untuk kawasan perumahan, di mana beban rumah ekuivalen dengan 10 kPa. Sedangkan, beban *vacuum* yang diterapkan pada proyek ini sebesar 74 kPa. Perbedaan beban sebesar 64 kPa tersebut dapat dikatakan sebagai beban tambahan (*surcharge load*) yang bisa menyebabkan pemampatan tanah lebih besar lagi yang diharapkan juga mencakup pemampatan sekunder, sehingga tidak diperlukan tinggi tambahan timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) yang harus ditambahkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder. Chu et al. (2014) juga mengungkapkan bahwa jika beban sementara melebihi beban akhir konstruksi, maka kelebihan beban tersebut merupakan beban tambahan (*surcharge*). Dengan menggunakan beban tambahan sementara (*surcharge*) melebihi beban kerja, tanah akan berada pada kondisi *overconsolidated* di mana pemampatan sekunder untuk tanah *over consolidated* akan jauh lebih kecil daripada tanah kondisi *normally consolidated*. Dengan metode *vacuum preloading* ini, yang perlu diketahui adalah tinggi timbunan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*) saat pemampatan sekunder sudah dihilangkan.

Metode *vacuum preloading* pada proyek ini terdiri dari tanah lantai kerja setebal 1 m, 2 lapisan pasir @0,4 m, beban *vacuum* sebesar 74 kPa yang ekuivalen dengan tinggi timbunan setinggi 4,4 m, sehingga bisa dikatakan bahwa tinggi timbunan awal ( $H_i$ ) pada metode ini setinggi 6,2 m. Beban *vacuum* yang diterapkan tidak dapat asal dalam perencanaannya. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya bahwa *vacuum preloading* dapat dikatakan berhasil apabila menerapkan tekanan *vacuum* paling tidak mencapai 80% dari tekanan atmosfer, namun tekanan atmosfer setiap lokasi berbeda, bergantung pada ketinggian lokasi. Bandung berada pada ketinggian +660 m, maka tekanan atmosfer di lokasi



tersebut adalah 93,25 kPa. Nilai tersebut didapat dari suatu alat yang disebut Altimeter. Fungsi dari Altimeter adalah untuk mengukur ketinggian suatu titik dari permukaan laut. Pengukuran ketinggian dapat dilakukan dengan berdasarkan tekanan atmosfer. Apabila efektivitas pompa *vacuum* yang diharapkan 80%, maka  $80\% \times 93,25 \text{ kPa} = 74,6 \text{ kPa}$ . Oleh karena itu, dalam proyek ini beban *vacuum* yang direncanakan sebesar 74 kPa.

Dalam tesis ini, untuk menghitung pemampatan primer dan sekunder, digunakan model *vacuum preloading* yang sudah direncanakan pada proyek tentunya. Akibat dari tinggi timbunan awal ( $H_i$ ) setinggi 6,2 m atau ekuivalen dengan 10,46 kPa, tanah akan mengalami pemampatan total ( $S_t$ ) sebesar 3 m, dengan perkiraan sudah meliputi pemampatan sekunder ( $S_s$ ). Pemampatan tanah yang terjadi cukup besar, sehingga tanah dasar seolah-olah memampat dan tenggelam hingga elevasi kurang dari  $\pm 0.0$  dan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*), yaitu +3.0, perlu timbunan tanah setinggi 4,2 m. Untuk menghindari kasus tanah yang seolah-olah tenggelam tersebut, terdapat solusi dengan melakukan penimbunan secara bertahap, namun tetap memampatkan tanah hingga 3 m seperti perhitungan sebelumnya. Untuk lebih lengkapnya, pentahapan timbunan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tahap pertama adalah menimbun timbunan setinggi dengan tinggi maksimum yang dapat diterima oleh tanah pada proyek ini sebelum terjadi kegagalan, misalnya longsor (*sliding*) atau yang biasa disebut dengan tinggi kritis. Tinggi kritis ( $H_{kritis}$ ) yang dapat diterima oleh tanah pada proyek ini adalah setinggi 2,1 m. Tinggi timbunan setinggi 2,1 m sudah meliputi lantai kerja setebal 1 m dan 2 lapisan pasir @0,4 m sesuai dengan perencanaan awal. Kemudian, tutup timbunan dengan *Geomembrane* agar kedap udara dan aplikasikan pompa *vacuum* sebesar 74 kPa. Menurut data instrumen geoteknik, pada proyek ini, untuk mencapai tekanan *vacuum* sebesar 74 kPa, dibutuhkan waktu sebulan atau 4 minggu. Maka dari itu, pentahapan timbunan pertama ini harus menunggu hingga waktu 4 minggu sebelum dilanjutkan ke pentahapan timbunan berikutnya. Berdasarkan perhitungan,

pemampatan total yang akan terjadi pada minggu ke-4 adalah sekitar 1,3 m dan masih ada sisa timbunan setinggi 0,8 m seperti yang tersaji pada Tabel 4.7. Data pemampatan tanah yang terjadi di lapangan nantinya dapat diketahui dari *Settlement Plate*. Setelah itu, matikan pompa *vacuum* dan buka *Geomembrane*.

2. Tahap kedua adalah menimbun sisa timbunan dari tahap pertama yang kemudian ditambah lagi dengan tinggi timbunan setinggi 3 m. Tinggi timbunan ini merupakan variabel, tergantung dari perencananya. Hal yang terpenting adalah tetap memampatkan tanah hingga 3 m dengan tinggi timbunan yang dapat bervariasi. Kemudian, tutup kembali timbunan dengan *Geomembrane* dan aplikasikan pompa *vacuum* sebesar 74 kPa. Tunggu kembali hingga waktu 4 minggu seperti yang dilakukan pada tahap pertama. Berdasarkan perhitungan, pemampatan total yang terjadi adalah sekitar 1,6 m dan terdapat sisa timbunan setinggi 2,3 m seperti yang tersaji pada Tabel 4.7. Setelah data pemampatan tanah di lapangan yang diperoleh dari *Settlement Plate* sudah mencapai 1,6 m, matikan pompa *vacuum*.
3. Dengan cara pentahapan timbunan seperti di atas, tanah akan mengalami pemampatan total sebesar 2,9 m, mendekati pemampatan total pada perhitungan awal. Setelah tahap penimbunan kedua selesai, perlu timbunan setinggi 0,7 m untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*), yaitu +3.0. Maka dari itu, dengan metode *vacuum preloading*, tinggi timbunan yang dibutuhkan untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*) saat pemampatan sekunder sudah dihilangkan adalah setinggi 5,8 m dengan rincian 2,1 m untuk tinggi kritis di tahap penimbunan pertama, 3 m untuk tahap penimbunan kedua, dan 0,7 m untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*).

Tabel 4.7 Rekap Perhitungan Pemampatan Total ( $S_t$ ) dan Tinggi Sisa Timbunan ( $H_{\text{sisa}}$ ) Tiap Tahapan Penimbunan

Tahap ke-	$S_t$ Minggu ke- (m)				$H_{\text{sisa}}$ Minggu ke- (m)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0,417	0,763	1,062	1,322	1,724	1,378	1,080	0,820
2	0,495	0,904	1,258	1,565	3,326	2,916	2,562	2,255

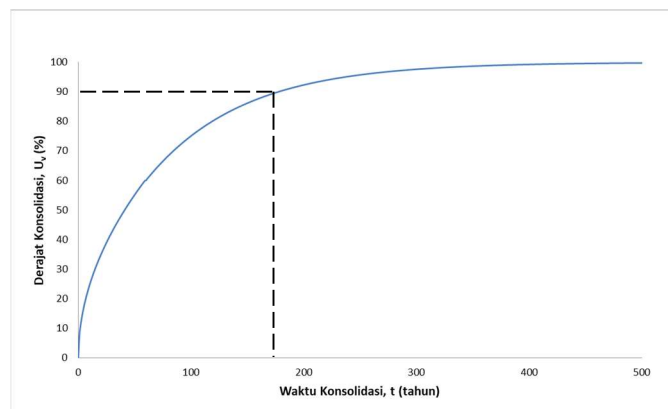
Perhitungan pemampatan total pada pentahapan timbunan tiap minggunya dihitung berdasarkan derajat konsolidasi menggunakan PVD yang akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

#### 4.6. Perencanaan PVD

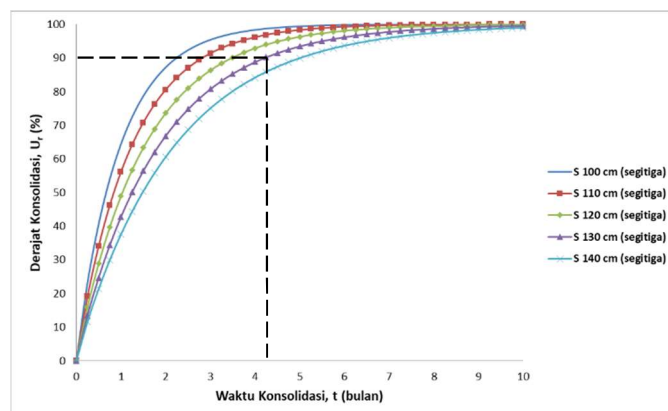
Kedua metode *preloading* yang sudah dibahas sebelumnya ditujukan untuk menghilangkan seluruh pemampatan tanah dengan cara memberikan beban awal yang lebih besar dari beban infrastruktur yang direncanakan agar pemampatan tanah sudah tidak ada setelah infrastruktur dibangun. Apabila hanya menerapkan metode *preloading* saja untuk perbaikan tanah dasarnya, akan memakan waktu yang sangat lama, mengingat tanah lempung lunak memiliki karakteristik, yaitu memiliki waktu konsolidasi yang lama. Memang dengan adanya *preloading*, air pori yang ikut terkompresi di dalam tanah akan mencari jalan ke luar, namun jalan ke luar yang harus ditempuh cukup jauh, yaitu setebal tanah kompresibel (*compressible layer*) dengan koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) yang cukup kecil yang mengakibatkan lamanya waktu konsolidasi. Pada proyek ini, tanah kompresibelnya (*compressible layer*) adalah setebal 20 m dengan koefisien konsolidasi ( $C_v$ ) yang tersaji pada Tabel 4.1. Apabila tidak digunakan PVD, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% sangat lama, yaitu 178 tahun. Hal ini dibuktikan dengan grafik hubungan antara waktu konsolidasi ( $t$ ) dengan derajat konsolidasi ( $U_v$ ) yang terdapat pada Gambar 4.21. Oleh karena itu, metode *preloading* perlu dikombinasikan dengan PVD.

Dengan adanya PVD, proses konsolidasi tanah dapat berlangsung dalam waktu yang sangat singkat. PVD dapat memperpendek jalan aliran air pori dengan menciptakan aliran pori arah horisontal. Akibat *preloading*, air pori yang ikut terkompresi di dalam tanah akan mencari jalan terpendek untuk ke luar, yaitu

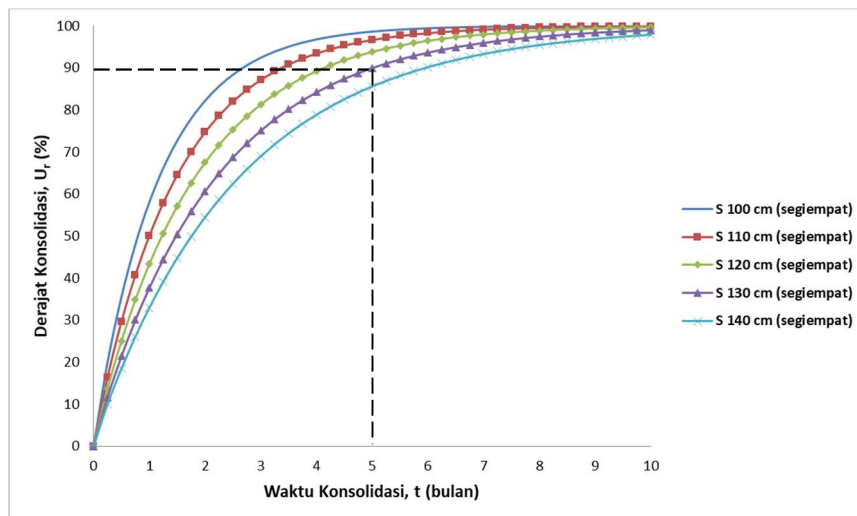
dengan melalui PVD, sehingga waktu konsolidasi menjadi cepat. PVD mampu mempercepat waktu konsolidasi dalam waktu bulanan saja. Untuk perencanaan PVD, dicoba menggunakan 2 pola pemasangan PVD, yaitu segitiga dan segiempat dengan 5 jarak yang berbeda. Dalam tesis ini, direncanakan PVD CT-D822 dengan lebar 100 mm dan tebal 4 mm. PVD dipasang sedalam tanah kompresibel (*compressible layer*), yaitu 20 m. Dari perhitungan derajat konsolidasi PVD pola segitiga dan segiempat yang terdapat pada Lampiran 5, dapat dibuat grafik hubungan antara waktu konsolidasi ( $t$ ) dengan derajat konsolidasi ( $U_r$ ). Perbandingan antara grafik hubungan waktu konsolidasi ( $t$ ) dan derajat konsolidasi ( $U_r$ ) PVD pola segitiga dengan segiempat dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23.



Gambar 4.21 Grafik Waktu Konsolidasi ( $t$ ) dengan Derajat Konsolidasi ( $U_v$ ) Tanpa PVD



Gambar 4.22 Grafik Waktu Konsolidasi ( $t$ ) dengan Derajat Konsolidasi ( $U_r$ ) PVD Pola Segitiga



Gambar 4.23 Grafik Waktu Konsolidasi (t) dengan Derajat Konsolidasi ( $U_r$ ) PVD Pola Segiempat

Waktu efektif penggunaan PVD adalah 4-6 bulan. Berdasarkan grafik di atas, jarak PVD 130 cm dengan pola segitiga memerlukan waktu 4,25 bulan atau 17 minggu untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Sedangkan, dengan jarak yang sama, pada pola segiempat dibutuhkan waktu 5 bulan atau 20 minggu untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Jadi, untuk perencanaan PVD, digunakan jarak 130 cm dengan pola segitiga.

#### 4.7. Perhitungan Estimasi Biaya Metode *Embankment Preloading* dan *Vacuum Preloading*

Berdasarkan perhitungan-perhitungan yang sudah dilakukan pada sub-bab sebelumnya, didapat kebutuhan material untuk masing-masing metode perbaikan tanah dasar; *embankment preloading* dan *vacuum preloading*. Metode *embankment preloading* membutuhkan 7,2 m timbunan tanah dan PVD pola segitiga dengan jarak 1,3 m sedalam 20 m. Sedangkan, metode *vacuum preloading* membutuhkan 5,8 m timbunan tanah, PVD pola segitiga dengan jarak 1,3 m sedalam 20 m, pompa *vacuum*, *Geotextile Non-Woven* untuk lapisan proteksi, serta *Geomembrane* untuk lapisan kedapnya. Estimasi biaya material yang dibutuhkan masing-masing metode *embankment preloading* dan *vacuum preloading* dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan 4.9

Tabel 4.8 Estimasi Biaya Metode *Embankment Preloading*

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Kuantitas	Harga Satuan (Rupiah)	Jumlah Harga (Rupiah)
<b>I</b>	<b>Pekerjaan Timbunan Tanah</b>				
1	Pengadaan Material Timbunan Tanah	m <sup>3</sup>	44.330	200.000	8.866.045.440
2	Penggelaran Timbunan Tanah	m <sup>3</sup>	44.330	50.000	2.216.511.360
<b>II</b>	<b>Pekerjaan PVD</b>				
1	Pengadaan PVD	m'	56.500	3.709	209.571.093
2	Pemasangan PVD	m'	54.660	3.840	209.900.600
<b>Jumlah Harga (Rupiah)</b>					11.502.028.493

Tabel 4.9 Estimasi Biaya Metode *Vacuum Preloading*

No.	Uraian Pekerjaan	Satuan	Kuantitas	Harga Satuan (Rupiah)	Jumlah Harga (Rupiah)
<b>I</b>	<b>Pekerjaan Timbunan Tanah</b>				
1	Pengadaan Material Timbunan Tanah	m <sup>3</sup>	33.278	200.000	6.655.574.240
2	Penggelaran Timbunan Tanah	m <sup>3</sup>	33.278	50.000	1.663.893.560
<b>II</b>	<b>Pekerjaan PVD</b>				
1	Pengadaan PVD	m'	56.500	3.709	209.571.093
2	Pemasangan PVD	m'	54.660	3.840	209.900.600
<b>III</b>	<b>Pekerjaan Vacuum</b>				
1	Pemompaan Vacuum	m <sup>2</sup>	4.000	365.134	1.460.535.688
<b>IV</b>	<b>Pekerjaan Geotextile Non-Woven</b>				
1	Pengadaan Geotextile Non-Woven	m <sup>2</sup>	8.000	7.630	61.038.961
2	Pemasangan Geotextile Non-Woven	m <sup>2</sup>	8.000	1.200	9.600.000
<b>V</b>	<b>Pekerjaan Geomembrane</b>				
1	Pengadaan Geomembrane	m <sup>2</sup>	4.000	42.360	169.440.667
2	Pemasangan Geomembrane	m <sup>2</sup>	4.000	6.225	24.901.746
<b>Jumlah Harga (Rupiah)</b>					10.464.456.556

Berdasarkan Tabel 4.8, estimasi biaya metode *embankment preloading* mencapai 11,5 miliar rupiah dan berdasarkan Tabel 4.9, estimasi biaya metode *vacuum preloading* mencapai 10,5 miliar rupiah. Estimasi biaya tersebut belum termasuk PHD, alat instrumen geoteknik, dan pekerjaan parit (*trench*) khusus untuk metode *vacuum preloading* yang tidak dibahas pada tesis ini. Estimasi biaya

metode *vacuum preloading* memang lebih rendah dibandingkan dengan metode *embankment preloading*, namun apabila melihat hasil perhitungan kembali, material timbunan tanah yang diperlukan metode *vacuum preloading* cukup banyak, yaitu 5,8 m di mana hanya berbeda 1,4 m dengan kebutuhan material timbunan tanah pada *embankment preloading*. Hal ini bertentangan dengan pernyataan awal yang mengatakan bahwa metode *vacuum preloading* tidak membutuhkan material timbunan tanah yang banyak seperti pada metode *embankment preloading*. Kondisi tanah dasar di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung yang menyebabkan kasus tersebut. Dengan angka pori ( $e$ ) yang besar seperti yang tersaji pada Tabel 4.1, pemampatan tanah yang terjadi besar pula, sehingga material timbunan tanah untuk mencapai elevasi akhir yang direncanakan (*levelling*) ikut menjadi banyak. Kondisi tanah dasar menjadi salah satu aspek dari keefektifan metode *vacuum preloading* dalam menghilangkan pemampatan tanah; primer dan sekunder selain dari aspek ketebalan tanah kompresibel (*compressible layer*), jarak PVD, serta kapasitas dari pompa *vacuum*. Oleh karena itu, tidak menutup kemungkinan bahwa terdapat studi lebih lanjut mengenai efektivitas *vacuum preloading* dalam menghilangkan pemampatan sekunder pada kondisi tanah dasar yang lebih baik.

Menurut Chai (2005), metode *vacuum preloading* juga memiliki beberapa keunggulan selain membutuhkan lebih sedikit material timbunan tanah yang tidak berlaku pada proyek ini, di antaranya adalah waktu berlangsungnya perbaikan tanah dasar menjadi lebih singkat dan tidak memerlukan alat berat. Selain itu, tidak ada campuran kimia yang akan masuk ke dalam tanah. Maka dari itu, metode ini adalah metode perbaikan tanah dasar yang ramah lingkungan. Keunggulan selanjutnya dari metode *vacuum preloading* adalah metode ini menerapkan *isotropic consolidation* yang meminimalisir resiko kegagalan longsor (*sliding*). Apabila dibandingkan dengan metode *embankment preloading*, metode ini tidak memungkinkan untuk menimbun timbunan setinggi 7,2 m secara langsung. Penimbunan harus dilakukan secara bertahap untuk menghindari resiko kegagalan longsor (*sliding*) dan untuk mencapai timbunan setinggi 7,2 m membutuhkan waktu yang cukup lama. Terlebih lagi pekerjaan di lapangan belum tentu sesuai perencanaan karena ada berbagai faktor, misalnya keterbatasan

material timbunan tanah dan faktor cuaca, sehingga menghambat atau menunda proses penimbunan dan berakibat pada mundurnya waktu berlangsungnya perbaikan tanah dasar. Maka dari itu, berdasarkan penjelasan yang telah disampaikan, metode *vacuum preloading* menjadi satu-satunya cara yang paling efektif untuk menghilangkan pemampatan sekunder bersamaan dengan pemampatan primer pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung.

#### 4.8. Pembahasan

Berdasarkan hasil studi yang telah dibahas, metode *embankment preloading* mampu memampatkan tanah sebesar 2,8 m, sedangkan metode *vacuum preloading* mampu memampatkan tanah sebesar 2,9 m, di mana pemampatan tanah tersebut sudah dianggap pemampatan total, yaitu pemampatan primer dan sekunder sekaligus. Dalam perhitungan skala laboratorium memang bisa dibedakan antara pemampatan primer dan sekunder. Akan tetapi, pada kenyataan di lapangan, pemampatan tanah sudah tidak bisa dibedakan lagi, mengingat pemampatan sekunder terjadi dalam jangka waktu yang lama dan tidak memungkinkan terus menerus memantau atau memonitor pemampatan sekunder hingga waktu yang ditinjau; dalam studi ini pemampatan sekunder dihitung dengan waktu tinjau terjadinya pemampatan sekunder, yaitu 20 tahun sesuai dengan umur perbaikan bangunan (rumah). Oleh karena itu, dalam studi pada tesis ini, pemampatan sekunder dihilangkan bersamaan dengan pemampatan primer dengan cara memberi beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) pada metode *preloading* yang dibebankan pada pemampatan primer dan kemudian dibongkar ketika metode *preloading* selesai, sehingga sudah tidak ada lagi pemampatan primer maupun sekunder. Dalam pelaksanaannya di lapangan, untuk memantau dan mengetahui pemampatan tanah yang terjadi, perlu digunakan *Settlement Plate* seperti yang sudah disebutkan pada Bab 1. Pembacaan pemampatan tanah pada *Settlement Plate* sudah dianggap pemampatan tanah total yang meliputi pemampatan sekunder, sehingga apabila pembacaan pemampatan tanah pada *Settlement Plate* sudah mencapai hasil perhitungan skala laboratorium, pemampatan sekunder dianggap selesai.



Berdasarkan pembahasan pada Sub-Bab 4.7, metode *vacuum preloading* menjadi satu-satunya cara yang paling efektif untuk menghilangkan pemampatan sekunder bersamaan dengan pemampatan primer pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung. Hal tersebut didasari oleh kebutuhan material timbunan tanah yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode *embankment preloading* meskipun tidak jauh berbeda dan estimasi biaya yang lebih rendah. Seperti yang sudah dibahas pula bahwa metode *vacuum preloading* memiliki durasi pelaksanaan yang lebih singkat karena metode ini menerapkan *isotropic consolidation* yang meminimalisir resiko kegagalan longsor (*sliding*). Apabila dibandingkan dengan metode *embankment preloading*, metode ini tidak memungkinkan untuk menimbun timbunan setinggi yang direncanakan secara langsung; dalam studi ini tinggi timbunan mencapai 7,2 m. Penimbunan harus dilakukan secara bertahap untuk menghindari resiko kegagalan longsor (*sliding*) dan untuk mencapai timbunan setinggi 7,2 m tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama terlebih apabila cuaca tidak baik atau hujan. Dibalik keunggulan pelaksanaan metode *vacuum preloading* tersebut, keberhasilan metode ini bergantung pada sistem kedepannya serta harus memperhatikan masalah-masalah yang mungkin terjadi seperti yang telah dibahas pada Bab 2, sehingga pelaksanaan metode *vacuum preloading* membutuhkan pengalaman dan pemahaman dari para kontraktor.

Sebagai akibat dari pelaksanaan metode *vacuum preloading*, tanah di sekitarnya menjadi retak. Dalam Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung, retak di sekitar area perbaikan tanah dasar dengan *vacuum preloading* dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan 4.25. Retak tersebut tidak menjadi masalah yang besar dikarenakan di sekitar area proyek tidak ada bangunan atau konstruksi eksisting, sehingga tidak mengganggu dan tidak menyebabkan kegagalan pada bangunan atau konstruksi lainnya. Apabila pelaksanaan metode *vacuum preloading* berada di dekat bangunan atau konstruksi eksisting, jarak antara batas lahan yang diperbaiki dengan eksisting bangunan sekitar atau pipa bawah tanah harus ditentukan berdasarkan data tanah dengan jarak tidak boleh kurang dari 20 m. Apabila jaraknya relatif dekat maka tindakan proteksi/pengamanan terhadap eksisting bangunan terhadap dari pengaruh

terjadinya konsolidasi area yang dilakukan perbaikan tanah dengan pra pembebanan dengan metode PVD dengan tambahan beban timbunan tanah atau dengan vakum, atau vakum dengan tambahan beban, harus diambil harus dengan persetujuan Direksi Teknis atau Konsultan Pengawas (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Proteksi/pengamanan tersebut umumnya dengan membuat parit antara lahan yang diperbaiki dengan eksisting bangunan sekitar supaya memutus pengaruh retak akibat dari pelaksanaan metode *vacuum preloading*.



Gambar 4.24 Retak di sekitar Area Perbaikan Tanah Dasar dengan *Vacuum Preloading* pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung



Gambar 4.25 Detail Retak di sekitar Area Perbaikan Tanah Dasar dengan *Vacuum Preloading* pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah disampaikan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Korelasi antara indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ), angka pori ( $e$ ), dan tegangan konsolidasi efektif ( $P'$ ) pada tanah di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung tidak cukup kuat. Berdasarkan hasil regresi eksponensial dan linier yang telah dilakukan, korelasi ketiga parameter tersebut memiliki nilai rata-rata koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,3319 dan koefisien korelasi ( $R$ ) sebesar 0,576, di mana nilai tersebut masih lemah, sehingga belum bisa mempertanggungjawabkan keeratan hubungannya. Oleh karena itu, nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) yang digunakan untuk perhitungan pemampatan sekunder pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung adalah nilai indeks pemampatan sekunder ( $C'_a$ ) yang didapat dari uji laboratorium.
2. Pada metode *embankment preloading*, beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) yang dibutuhkan untuk menghilangkan pemampatan sekunder sebesar  $1,508 \text{ t/m}^2$ . Beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) tersebut apabila dikonversikan dalam tinggi timbunan ( $H_{\Delta q}$ ) ekuivalen dengan 0,9 m. Dengan adanya beban tambahan timbunan ( $\Delta q$ ) tersebut, tinggi awal timbunan ( $H_i$ ) yang harus ditimbun adalah setinggi 7,2 m yang mengakibatkan pemampatan total ( $S_t$ ) sebesar 2,8 m.
3. Pada metode *vacuum preloading*, perlu timbunan setinggi 0,7 m untuk mencapai elevasi akhir yang sudah direncanakan (*levelling*) saat pemampatan sekunder sudah dihilangkan. Tinggi timbunan tersebut direncanakan berdasarkan pentahapan timbunan yang terdiri dari tahap pertama dan kedua. Pada tahap pertama, tinggi timbunan yang ditimbun adalah setinggi 2,1 m dan pada tahap kedua, tinggi timbunan yang

ditimbun adalah setinggi 3 m. Dengan kedua tahap tersebut, tanah akan memampat sebesar 2,9 m, di mana sudah meliputi pemampatan sekunder.

4. Estimasi biaya yang harus dikeluarkan apabila menggunakan metode *embankment preloading* mencapai 11,5 miliar rupiah, sedangkan estimasi biaya metode *vacuum preloading* mencapai 10,5 miliar rupiah. Estimasi biaya tersebut belum termasuk PHD, alat instrumen geoteknik, dan pekerjaan parit (*trench*) khusus untuk metode *vacuum preloading* yang tidak dibahas pada tesis ini. Walaupun estimasi biaya metode *vacuum preloading* memang lebih rendah dibandingkan dengan metode *embankment preloading*, namun berdasarkan hasil perhitungan, material timbunan tanah yang diperlukan metode *vacuum preloading* tidak jauh berbeda dengan metode *embankment preloading*. *Vacuum preloading* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan *embankment preloading*, yaitu menerapkan *isotropic consolidation* yang meminimalisir resiko kegagalan longsor (*sliding*), mempersingkat waktu berlangsungnya perbaikan tanah dasar dan tidak memerlukan alat berat. Selain itu, tidak ada campuran kimia yang akan masuk ke dalam tanah. Oleh karena itu, *vacuum preloading* menjadi satu-satunya cara yang paling efektif untuk menghilangkan pemampatan sekunder bersamaan dengan pemampatan primer.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah disampaikan, keefektifan metode *vacuum preloading* dalam menghilangkan pemampatan tanah; primer dan sekunder ditentukan dari aspek kondisi tanah dasar, ketebalan tanah kompresibel (*compressible layer*), jarak PVD, serta kapasitas dari pompa *vacuum*. Kondisi tanah dasar di Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung yang memiliki angka pori ( $e$ ) besar menyebabkan pemampatan tanah yang besar pula, sehingga material timbunan tanah untuk mencapai elevasi akhir yang direncanakan (*levelling*) ikut menjadi banyak dan pada akhirnya material timbunan tanah yang diperlukan metode *vacuum preloading* cukup banyak, yaitu 5,8 m di mana hanya berbeda 1,4 m dengan kebutuhan material timbunan tanah

pada *embankment preloading*. Hal ini bertentangan dengan pernyataan yang mengatakan bahwa metode *vacuum preloading* tidak membutuhkan material timbunan tanah yang banyak seperti pada metode *embankment preloading*. Oleh karena itu, terdapat saran bahwa tidak menutup kemungkinan terdapat studi lebih lanjut mengenai efektivitas *vacuum preloading* dalam menghilangkan pemampatan sekunder pada kondisi tanah dasar yang lebih baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Alihudien, Arief. dan Mochtar, Indrasurya B. (2009), “Usulan Perumusan Pemampatan Konsolidasi Sekunder untuk Tanah Lempung”, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIII 2009 Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia*, Denpasar, Bali, 5-6 Nopember, ISBN: 978-979-96668-7-1.
- Bergado, D. T., Balasubramaniam, A. S., Fannin, R. J., and Holta, R. D. (2002), “Prefabricated Vertical Drains (PVDs) in Soft Bangkok Clay: a Case Study of the New Bangkok International Airport Project”, *Canadian Geotechnical Journal*, 39: 304-315.
- Chai, J. C., Cater, J. P., and Hayashi, S. (2005a), “Ground Deformation Induced by Vacuum Consolidation”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 131(12): 1552-1561.
- Chai, J.-C., Hayashi, S., and Carter, J. P. (2005b), “Characteristics of Vacuum Consolidation”, *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Osaka 12. - 16.09.2005, Rotterdam, Millpress.
- Choa, V. (1990), “Soil Improvement Works at Tianjin East Pier Project”. *Proceedings 10th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Taipei, 1: 47-52.
- Chu, J., Yan, S. W., and Yang, H. (2000), “Soil Improvement by Vacuum Preloading Method for an Oil Storage Station”, *Geotechnique*, 50(6): 625-632.
- Chu, J. and Yan, S.W. (2005), “Estimation of Degree of Consolidation for Vacuum Preloading Projects”, *International Journal of Geomechanics*, Vol. 5, June 1, 2005, 158-165.
- Das, Braja M. (1988), *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip) Rekayasa Geoteknis Jilid 1. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar*, Jakarta, Erlangga.



- Desiani, A. and Rahardjo, P. P. (2017), "Characterization of Bandung Soft Clay", *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, pp 4377-4393, Available at ejge.com.
- Dhianty, Ega. dan Mochtar, Indrasurya B. (2018), *Perumusan Indeks Pemampatan Sekunder dan Metode Menghilangkan Pemampatan Sekunder pada Tanah Lempung*, Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Gouw, Tjie-Liong. and Dan Yu, Liu. (2012). "Soil Improvement by Vacuum Preloading for a Power Plant Project in Vietnam", *HATTI-PIT-XVI 2012*, 4-5 Dec 2012, Hotel Borobudur, Jakarta.
- Hansbo, S. (1979), "Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated Drains", *Ground Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 16-25.
- Holtan, G.W. (1965). "Vacuum Stabilization of Subsoil Beneath Runway Extension at Philadelphia International Airport", *In Proc. of 6th ICSMFE*, 2.
- Holtz, R.D. and Wager, O. (1975), "Preloading by Vacuum-Current Prospects", *Transportation Research Record* 548, 26-29.
- Indraratna, B., Bamunawita, C., and Khabbaz, H. (2004), "Numerical Modeling of Vacuum Preloading and Field Applications". *Canadian Geotechnical Journal*, 41: 1098-1110.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., and Sathananthan, I. (2005), "Radial Consolidation of Clay Using Compressibility Indices and Varying Horizontal Permeability", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 42, No. 5, Oct. 2005, 1330-1341.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015), *Spesifikasi Khusus Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol - PVD dengan Metode Vakum*, Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kep Men Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004), *Desain dan Konstruksi Pita Drain Vertikal Prefabrikasi (PDVP)*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

- Kjellman W. (1952), "Consolidation of Clayey Soils by Atmospheric Pressure", *Proceedings of a Conference on Soil Stabilisation*, MIT, Boston, pp. 258–263.
- Koutsoftas, D. C., Foott, R. and Handfelt, L. D. (1987), "Geotechnical Investigations Offshore Hong Kong", *J. Geotech. Engng. Div.*, ASCE 113, No. 2, 87-105.
- Ladd, C. C. (1994), "Settlement Analysis of Cohesive Soils", Research Report R71-2. Cambridge, MA: MIT.
- Mesri, G. (1973), "Coefficient of Secondary Compression", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, 99, 1 pp. 123-137.
- Mitchell, James, K. (1981), "Soil Improvement: State-of-the-Art, State-of-the-Art Report, Session 12", *Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Sweden, June 15-19.
- Mochtar, Indrasurya B. (2000), *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan Pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*, Surabaya, Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Mochtar, Noor Endah. (2012), *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah (RC09-1402)*, Surabaya, Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Mohamedelhassan E., and Shang, J.Q. (2002). "Vacuum and Surcharge Combined One-Dimensional Consolidation of Clay Soils", *Canadian Geotechnical Journal*, 39: 1126-1138.
- Pilot, G. (1977), "Methods of Improving the Engineering Properties of Soft Clay: State of the Art. Proc. Int. Symp. On Soft Clay, Bangkok. Also in Bull. Liaison Labs, P. Et Ch", *Special Issue VIE*, April 1978, 140-178.
- Seah, T.H. (2006). "Design and Construction of Ground Improvement Works at Suvarnabhumi Airport", *Geotechnical Engineering Journal of the Southeast Asian Geotechnical Society*, 37: 171-188.
- Tohari, A., Soebowo, E., Wibawa, S., dan Jaya, A. (2015), "Kondisi Geologi Teknik Bawah Permukaan Wilayah Cekungan Bandung (Lintasan Gedebage-Bojongsoang-Solokanjeruk-Majalaya), dalam *Pemaparan Hasil Penelitian Geoteknologi 2015*, ISBN: 978- 979-8636-30-1.

- Yan, S.W. and Chu, J. (2003), "Soil Improvement for a Road Using a Vacuum Preloading Method", *Ground Improvement*, 7(4): 165-172.
- Yu, K. P. and Frizzi, R. P. (1994), "Preloading Organic Soils To Limit Future Settlements in Vertical And Horizontal Displacements Of Foundations And Embankments", ASCE Geotechnical Special Publication No. 40, Vol. 1, 476-490.

# LAMPIRAN 1

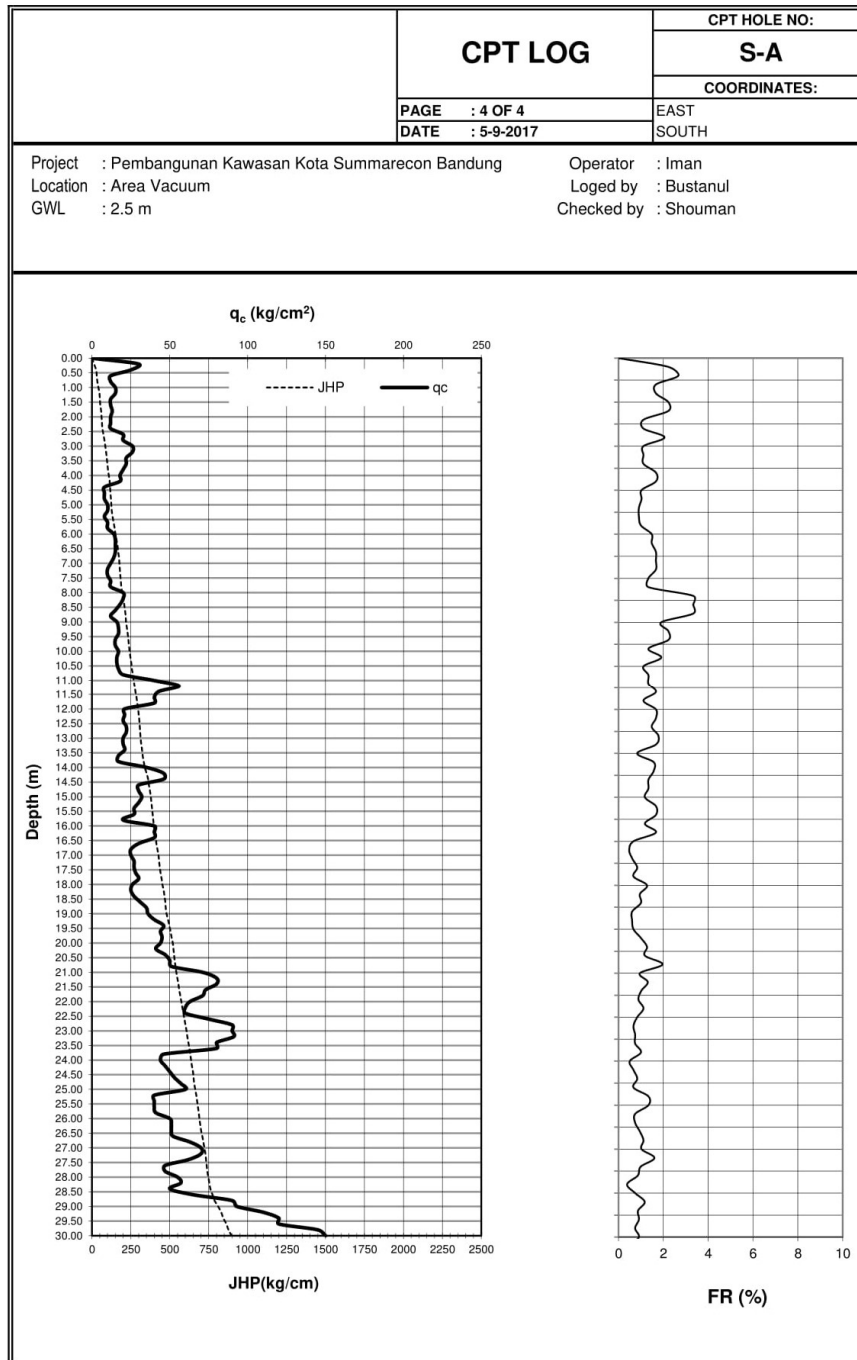
## HASIL UJI LAPANGAN

### a. Cone Penetration Test (CPT)

					CPT LOG			CPT HOLE NO:	
								S-A	
					COORDINATES:			EAST NORTH	
PAGE : 1 OF 4									
DATE : 5-9-2017									
Project : Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung									
Operator : Iman									
Location : Area Vacuum									
GWL : 2.5 m									
Logged by : Bustanul									
Checked by : Shouman									
Depth (m)	Cw (kg/cm <sup>2</sup> )	Tw (kg/cm <sup>2</sup> )	Kw (Tw - Cw)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	LF (kg/cm <sup>2</sup> )	LF x 20 cm	JHP (kg/cm)	Fr (%)	Local Description
0.00	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Clay
0.20	30	40	10	30.00	0.67	13.34	13.34	2.22	Sandy Silt/Silt
0.40	25	35	10	25.00	0.67	13.34	26.68	2.67	Sandy Silt/Silt
0.60	12	15	3	12.00	0.20	4.00	30.68	1.67	Sandy Silt/Silt
0.80	12	15	3	12.00	0.20	4.00	34.69	1.67	Sandy Silt/Silt
1.00	15	20	5	15.00	0.33	6.67	41.36	2.22	Sandy Silt/Silt
1.20	15	20	5	15.00	0.33	6.67	48.03	2.22	Sandy Silt/Silt
1.40	12	14	2	12.00	0.13	2.67	50.70	1.11	Sandy Silt/Silt
1.60	12	14	2	12.00	0.13	2.67	53.36	1.11	Sandy Silt/Silt
1.80	13	17	4	13.00	0.27	5.34	58.70	2.05	Sandy Silt/Silt
2.00	12	14	2	12.00	0.13	2.67	61.37	1.11	Sandy Silt/Silt
2.20	12	14	2	12.00	0.13	2.67	64.04	1.11	Sandy Silt/Silt
2.40	12	14	2	12.00	0.13	2.67	66.70	1.11	Sandy Silt/Silt
2.60	20	25	5	20.00	0.33	6.67	73.37	1.67	Sandy Silt/Silt
2.80	20	25	5	20.00	0.33	6.67	80.04	1.67	Sandy Silt/Silt
3.00	26	30	4	26.00	0.27	5.34	85.38	1.03	Silty Sand
3.20	26	30	4	26.00	0.27	5.34	90.72	1.03	Silty Sand
3.40	22	25	3	22.00	0.20	4.00	94.72	0.91	Silty Sand
3.60	22	25	3	22.00	0.20	4.00	98.72	0.91	Silty Sand
3.80	20	23	3	20.00	0.20	4.00	102.72	1.00	Silty Sand
4.00	18	22	4	18.00	0.27	5.34	108.06	1.48	Sandy Silt/Silt
4.20	18	22	4	18.00	0.27	5.34	113.40	1.48	Sandy Silt/Silt
4.40	8	10	2	8.00	0.13	2.67	116.07	1.67	Sandy Silt/Silt
4.60	8	10	2	8.00	0.13	2.67	118.73	1.67	Sandy Silt/Silt
4.80	8	10	2	8.00	0.13	2.67	121.40	1.67	Sandy Silt/Silt
5.00	10	12	2	10.00	0.13	2.67	124.07	1.33	Sandy Silt/Silt
5.20	10	12	2	10.00	0.13	2.67	126.74	1.33	Sandy Silt/Silt
5.40	8	12	4	8.00	0.27	5.34	132.07	3.34	Silty Clay/Clayey Silt
5.60	10	15	5	10.00	0.33	6.67	138.74	3.34	Silty Clay/Clayey Silt
5.80	10	15	5	10.00	0.33	6.67	145.41	3.34	Silty Clay/Clayey Silt
6.00	14	18	4	14.00	0.27	5.34	150.75	1.91	Sandy Silt/Silt
6.20	15	20	5	15.00	0.33	6.67	157.42	2.22	Sandy Silt/Silt
6.40	15	20	5	15.00	0.33	6.67	164.09	2.22	Sandy Silt/Silt
6.60	15	18	3	15.00	0.20	4.00	168.09	1.33	Sandy Silt/Silt
6.80	14	18	4	14.00	0.27	5.34	173.43	1.91	Sandy Silt/Silt
7.00	12	14	2	12.00	0.13	2.67	176.10	1.11	Sandy Silt/Silt
7.20	10	12	2	10.00	0.13	2.67	178.77	1.33	Sandy Silt/Silt
7.40	10	12	2	10.00	0.13	2.67	181.43	1.33	Sandy Silt/Silt
7.60	12	15	3	12.00	0.20	4.00	185.44	1.67	Sandy Silt/Silt
7.80	12	14	2	12.00	0.13	2.67	188.11	1.11	Sandy Silt/Silt
8.00	20	25	5	20.00	0.33	6.67	194.78	1.67	Sandy Silt/Silt
8.20	20	25	5	20.00	0.33	6.67	201.45	1.67	Sandy Silt/Silt
8.40	18	22	4	18.00	0.27	5.34	206.78	1.48	Sandy Silt/Silt
8.60	15	19	4	15.00	0.27	5.34	212.12	1.78	Sandy Silt/Silt
8.80	12	15	3	12.00	0.20	4.00	216.12	1.67	Sandy Silt/Silt
9.00	16	18	2	16.00	0.13	2.67	218.79	0.83	Sandy Silt/Silt
9.20	17	21	4	17.00	0.27	5.34	224.13	1.57	Sandy Silt/Silt
9.40	17	21	4	17.00	0.27	5.34	229.46	1.57	Sandy Silt/Silt
9.60	15	18	3	15.00	0.20	4.00	233.46	1.33	Sandy Silt/Silt
9.80	15	18	3	15.00	0.20	4.00	237.47	1.33	Sandy Silt/Silt
10.00	17	20	3	17.00	0.20	4.00	241.47	1.18	Sandy Silt/Silt

						CPT LOG				CPT HOLE NO:
										S-A
										COORDINATES:
						PAGE : 2 OF 4				EAST
						DATE : 5-9-2017				SOUTH
Project : Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung						Operator : Iman				
Location : Area Vacuum						Logged by : Bustanul				
GWL : 2.5 m						Checked by : Shouman				
Depth (m)	Cw (kg/cm <sup>2</sup> )	Tw (kg/cm <sup>2</sup> )	Kw (Tw - Cw)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	LF (kg/cm <sup>2</sup> )	LF x 20 cm	JHP (kg/cm)	Fr (%)	Local Description	
10.00	17	20	3	17.00	0.20	4.00	241.47	1.18	Sandy Silt/Silt	
10.20	16	20	4	16.00	0.27	5.34	246.80	1.67	Sandy Silt/Silt	
10.40	16	20	4	16.00	0.27	5.34	252.14	1.67	Sandy Silt/Silt	
10.60	17	20	3	17.00	0.20	4.00	256.14	1.18	Sandy Silt/Silt	
10.80	20	25	5	20.00	0.33	6.67	262.81	1.67	Sandy Silt/Silt	
11.00	40	44	4	40.00	0.27	5.34	268.15	0.67	Silty Sand	
11.20	56	60	4	56.00	0.27	5.34	273.49	0.48	Sand	
11.40	43	47	4	43.00	0.27	5.34	278.82	0.62	Sand	
11.60	40	45	5	40.00	0.33	6.67	285.49	0.83	Silty Sand	
11.80	40	44	4	40.00	0.27	5.34	290.83	0.67	Silty Sand	
12.00	21	25	4	21.00	0.27	5.34	296.17	1.27	Silty Sand	
12.20	21	24	3	21.00	0.20	4.00	300.17	0.95	Silty Sand	
12.40	20	23	3	20.00	0.20	4.00	304.17	1.00	Silty Sand	
12.60	22	24	2	22.00	0.13	2.67	306.84	0.61	Silty Sand	
12.80	22	24	2	22.00	0.13	2.67	309.51	0.61	Silty Sand	
13.00	20	22	2	20.00	0.13	2.67	312.17	0.67	Silty Sand	
13.20	20	23	3	20.00	0.20	4.00	316.18	1.00	Silty Sand	
13.40	21	25	4	21.00	0.27	5.34	321.51	1.27	Silty Sand	
13.60	17	20	3	17.00	0.20	4.00	325.52	1.18	Sandy Silt/Silt	
13.80	17	22	5	17.00	0.33	6.67	332.19	1.96	Sandy Silt/Silt	
14.00	35	40	5	35.00	0.33	6.67	338.86	0.95	Silty Sand	
14.20	46	55	9	46.00	0.60	12.01	350.86	1.31	Silty Sand	
14.40	46	53	7	46.00	0.47	9.34	360.20	1.02	Silty Sand	
14.60	30	34	4	30.00	0.27	5.34	365.54	0.89	Silty Sand	
14.80	30	35	5	30.00	0.33	6.67	372.21	1.11	Silty Sand	
15.00	32	36	4	32.00	0.27	5.34	377.54	0.83	Silty Sand	
15.20	30	33	3	30.00	0.20	4.00	381.55	0.67	Silty Sand	
15.40	27	30	3	27.00	0.20	4.00	385.55	0.74	Silty Sand	
15.60	27	30	3	27.00	0.20	4.00	389.55	0.74	Silty Sand	
15.80	20	23	3	20.00	0.20	4.00	393.55	1.00	Silty Sand	
16.00	40	43	3	40.00	0.20	4.00	397.56	0.50	Silty Sand	
16.20	40	44	4	40.00	0.27	5.34	402.89	0.67	Silty Sand	
16.40	40	45	5	40.00	0.33	6.67	409.56	0.83	Silty Sand	
16.60	30	33	3	30.00	0.20	4.00	413.57	0.67	Silty Sand	
16.80	25	30	5	25.00	0.33	6.67	420.24	1.33	Silty Sand	
17.00	25	30	5	25.00	0.33	6.67	426.91	1.33	Silty Sand	
17.20	27	30	3	27.00	0.20	4.00	430.91	0.74	Silty Sand	
17.40	27	30	3	27.00	0.20	4.00	434.91	0.74	Silty Sand	
17.60	28	32	4	28.00	0.27	5.34	440.25	0.95	Silty Sand	
17.80	30	35	5	30.00	0.33	6.67	446.92	1.11	Silty Sand	
18.00	26	30	4	26.00	0.27	5.34	452.25	1.03	Silty Sand	
18.20	25	31	6	25.00	0.40	8.00	460.26	1.60	Silty Sand	
18.40	27	31	4	27.00	0.27	5.34	465.59	0.99	Silty Sand	
18.60	31	35	4	31.00	0.27	5.34	470.93	0.86	Silty Sand	
18.80	35	37	2	35.00	0.13	2.67	473.60	0.38	Silty Sand	
19.00	36	40	4	36.00	0.27	5.34	478.93	0.74	Silty Sand	
19.20	40	47	7	40.00	0.47	9.34	488.27	1.17	Silty Sand	
19.40	46	52	6	46.00	0.40	8.00	496.28	0.87	Silty Sand	
19.60	44	50	6	44.00	0.40	8.00	504.28	0.91	Silty Sand	
19.80	45	50	5	45.00	0.33	6.67	510.95	0.74	Silty Sand	
20.00	44	50	6	44.00	0.40	8.00	518.96	0.91	Silty Sand	

CPT LOG						CPT HOLE NO:			
						S-A			
						COORDINATES:			
						EAST			
PAGE : 3 OF 4						SOUTH			
DATE : 5-9-2017									
Project : Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung						Operator : Iman			
Location : Area Vacuum						Logged by : Bustanul			
GWL : 2.5 m						Checked by : Shouman			
Depth (m)	Cw (kg/cm <sup>2</sup> )	Tw (kg/cm <sup>2</sup> )	Kw (Tw - Cw)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	LF (kg/cm <sup>2</sup> )	LF x 20 cm	JHP (kg/cm)	Fr (%)	Local Description
20.00	44	50	6	44.00	0.40	8.00	518.96	0.91	Silty Sand
20.20	41	44	3	41.00	0.20	4.00	522.96	0.49	Sand
20.40	47	50	3	47.00	0.20	4.00	526.96	0.43	Sand
20.60	50	53	3	50.00	0.20	4.00	530.96	0.40	Sand
20.80	51	55	4	51.00	0.27	5.34	536.30	0.52	Sand
21.00	71	75	4	71.00	0.27	5.34	541.64	0.38	Sand
21.20	80	85	5	80.00	0.33	6.67	548.31	0.42	Sand
21.40	80	85	5	80.00	0.33	6.67	554.98	0.42	Sand
21.60	73	77	4	73.00	0.27	5.34	560.31	0.37	Sand
21.80	71	76	5	71.00	0.33	6.67	566.98	0.47	Sand
22.00	63	68	5	63.00	0.33	6.67	573.65	0.53	Sand
22.20	60	65	5	60.00	0.33	6.67	580.33	0.56	Sand
22.40	60	65	5	60.00	0.33	6.67	587.00	0.56	Sand
22.60	75	80	5	75.00	0.33	6.67	593.67	0.44	Sand
22.80	90	95	5	90.00	0.33	6.67	600.34	0.37	Sand
23.00	90	95	5	90.00	0.33	6.67	607.01	0.37	Sand
23.20	91	95	4	91.00	0.27	5.34	612.34	0.29	Sand
23.40	80	85	5	80.00	0.33	6.67	619.01	0.42	Sand
23.60	80	85	5	80.00	0.33	6.67	625.68	0.42	Sand
23.80	46	50	4	46.00	0.27	5.34	631.02	0.58	Sand
24.00	44	48	4	44.00	0.27	5.34	636.36	0.61	Sand
24.20	47	51	4	47.00	0.27	5.34	641.69	0.57	Sand
24.40	50	55	5	50.00	0.33	6.67	648.36	0.67	Sand
24.60	53	56	3	53.00	0.20	4.00	652.37	0.38	Sand
24.80	57	60	3	57.00	0.20	4.00	656.37	0.35	Sand
25.00	60	65	5	60.00	0.33	6.67	663.04	0.56	Sand
25.20	40	45	5	40.00	0.33	6.67	669.71	0.83	Silty Sand
25.40	40	44	4	40.00	0.27	5.34	675.04	0.67	Silty Sand
25.60	40	44	4	40.00	0.27	5.34	680.38	0.67	Silty Sand
25.80	41	45	4	41.00	0.27	5.34	685.72	0.65	Silty Sand
26.00	50	53	3	50.00	0.20	4.00	689.72	0.40	Sand
26.20	51	55	4	51.00	0.27	5.34	695.06	0.52	Sand
26.40	51	55	4	51.00	0.27	5.34	700.39	0.52	Sand
26.60	52	58	6	52.00	0.40	8.00	708.40	0.77	Sand
26.80	63	68	5	63.00	0.33	6.67	715.07	0.53	Sand
27.00	70	75	5	70.00	0.33	6.67	721.74	0.48	Sand
27.20	70	75	5	70.00	0.33	6.67	728.41	0.48	Sand
27.40	62	65	3	62.00	0.20	4.00	732.41	0.32	Sand
27.60	47	50	3	47.00	0.20	4.00	736.41	0.43	Sand
27.80	47	50	3	47.00	0.20	4.00	740.41	0.43	Sand
28.00	55	60	5	55.00	0.33	6.67	747.09	0.61	Sand
28.20	57	62	5	57.00	0.33	6.67	753.76	0.59	Sand
28.40	50	55	5	50.00	0.33	6.67	760.43	0.67	Sand
28.60	65	75	10	65.00	0.67	13.34	773.77	1.03	Sand
28.80	90	100	10	90.00	0.67	13.34	787.11	0.74	Sand
29.00	93	110	17	93.00	1.13	22.68	809.79	1.22	Sand
29.20	110	125	15	110.00	1.00	20.01	829.80	0.91	Sand
29.40	120	130	10	120.00	0.67	13.34	843.14	0.56	Sand
29.60	120	135	15	120.00	1.00	20.01	863.15	0.83	Sand
29.80	145	155	10	145.00	0.67	13.34	876.49	0.46	Sand
30.00	150	165	15	150.00	1.00	20.01	896.50	0.67	Sand

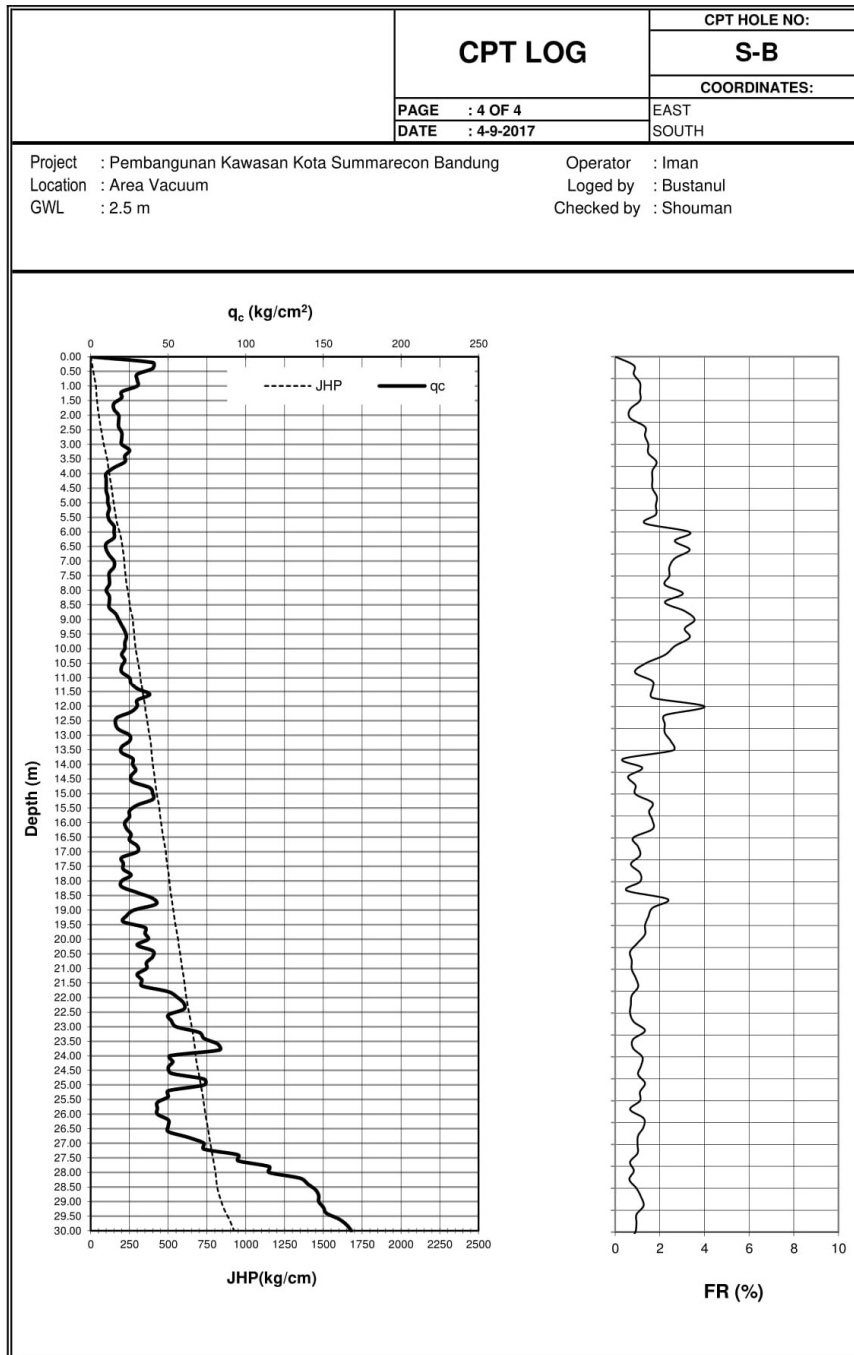


CPT LOG					CPT HOLE NO:				
					S-B				
					COORDINATES:				
					PAGE : 1 OF 4	EAST			
DATE : 4-9-2017					NORTH				
Project : Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung					Operator : Iman				
Location : Area Vacuum					Logged by : Bustanul				
GWL : 2.5 m					Checked by : Shouman				
Depth (m)	Cw (kg/cm <sup>2</sup> )	Tw (kg/cm <sup>2</sup> )	Kw (Tw - Cw)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	LF (kg/cm <sup>2</sup> )	LF x 20 cm	JHP (kg/cm)	Fr (%)	Local Description
0.00	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Clay
0.20	40	45	5	40.00	0.33	6.67	6.67	0.83	Silty Sand
0.40	40	45	5	40.00	0.33	6.67	13.34	0.83	Silty Sand
0.60	30	35	5	30.00	0.33	6.67	20.01	1.11	Silty Sand
0.80	30	35	5	30.00	0.33	6.67	26.68	1.11	Silty Sand
1.00	30	35	5	30.00	0.33	6.67	33.35	1.11	Silty Sand
1.20	20	22	2	20.00	0.13	2.67	36.02	0.67	Silty Sand
1.40	20	22	2	20.00	0.13	2.67	38.69	0.67	Silty Sand
1.60	15	18	3	15.00	0.20	4.00	42.69	1.33	Sandy Silt/Silt
1.80	15	18	3	15.00	0.20	4.00	46.69	1.33	Sandy Silt/Silt
2.00	18	22	4	18.00	0.27	5.34	52.03	1.48	Sandy Silt/Silt
2.20	18	22	4	18.00	0.27	5.34	57.37	1.48	Sandy Silt/Silt
2.40	18	23	5	18.00	0.33	6.67	64.04	1.85	Sandy Silt/Silt
2.60	20	25	5	20.00	0.33	6.67	70.71	1.67	Sandy Silt/Silt
2.80	20	25	5	20.00	0.33	6.67	77.38	1.67	Sandy Silt/Silt
3.00	20	25	5	20.00	0.33	6.67	84.05	1.67	Sandy Silt/Silt
3.20	25	32	7	25.00	0.47	9.34	93.39	1.87	Sandy Silt/Silt
3.40	22	28	6	22.00	0.40	8.00	101.39	1.82	Sandy Silt/Silt
3.60	22	28	6	22.00	0.40	8.00	109.39	1.82	Sandy Silt/Silt
3.80	15	18	3	15.00	0.20	4.00	113.40	1.33	Sandy Silt/Silt
4.00	10	15	5	10.00	0.33	6.67	120.07	3.34	Silty Clay/Clayey Silt
4.20	10	14	4	10.00	0.27	5.34	125.40	2.67	Silty Clay/Clayey Silt
4.40	10	15	5	10.00	0.33	6.67	132.07	3.34	Silty Clay/Clayey Silt
4.60	10	14	4	10.00	0.27	5.34	137.41	2.67	Silty Clay/Clayey Silt
4.80	11	15	4	11.00	0.27	5.34	142.75	2.43	Silty Clay/Clayey Silt
5.00	11	15	4	11.00	0.27	5.34	148.08	2.43	Silty Clay/Clayey Silt
5.20	12	16	4	12.00	0.27	5.34	153.42	2.22	Silty Clay/Clayey Silt
5.40	11	16	5	11.00	0.33	6.67	160.09	3.03	Silty Clay/Clayey Silt
5.60	12	16	4	12.00	0.27	5.34	165.43	2.22	Silty Clay/Clayey Silt
5.80	15	22	7	15.00	0.47	9.34	174.76	3.11	Silty Clay/Clayey Silt
6.00	15	23	8	15.00	0.53	10.67	185.44	3.56	Silty Clay/Clayey Silt
6.20	15	22	7	15.00	0.47	9.34	194.78	3.11	Silty Clay/Clayey Silt
6.40	10	15	5	10.00	0.33	6.67	201.45	3.34	Silty Clay/Clayey Silt
6.60	10	14	4	10.00	0.27	5.34	206.78	2.67	Silty Clay/Clayey Silt
6.80	12	16	4	12.00	0.27	5.34	212.12	2.22	Silty Clay/Clayey Silt
7.00	15	18	3	15.00	0.20	4.00	216.12	1.33	Sandy Silt/Silt
7.20	15	17	2	15.00	0.13	2.67	218.79	0.89	Sandy Silt/Silt
7.40	12	15	3	12.00	0.20	4.00	222.79	1.67	Sandy Silt/Silt
7.60	12	15	3	12.00	0.20	4.00	226.79	1.67	Sandy Silt/Silt
7.80	12	15	3	12.00	0.20	4.00	230.80	1.67	Sandy Silt/Silt
8.00	10	16	6	10.00	0.40	8.00	238.80	4.00	Silty Clay/Clayey Silt
8.20	12	16	4	12.00	0.27	5.34	244.14	2.22	Silty Clay/Clayey Silt
8.40	12	16	4	12.00	0.27	5.34	249.47	2.22	Silty Clay/Clayey Silt
8.60	12	16	4	12.00	0.27	5.34	254.81	2.22	Silty Clay/Clayey Silt
8.80	16	22	6	16.00	0.40	8.00	262.81	2.50	Silty Clay/Clayey Silt
9.00	18	25	7	18.00	0.47	9.34	272.15	2.59	Silty Clay/Clayey Silt
9.20	20	21	1	20.00	0.07	1.33	273.49	0.33	Silty Sand
9.40	22	26	4	22.00	0.27	5.34	278.82	1.21	Silty Sand
9.60	23	25	2	23.00	0.13	2.67	281.49	0.58	Silty Sand
9.80	22	25	3	22.00	0.20	4.00	285.49	0.91	Silty Sand
10.00	22	25	3	22.00	0.20	4.00	289.50	0.91	Silty Sand



						CPT HOLE NO:			
						S-B			
						COORDINATES:			
PAGE : 2 OF 4						EAST			
DATE : 4-9-2017						SOUTH			
Project : Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung						Operator : Iman			
Location : Area Vacuum						Logged by : Bustanul			
GWL : 2.5 m						Checked by : Shouman			
Depth (m)	Cw (kg/cm <sup>2</sup> )	Tw (kg/cm <sup>2</sup> )	Kw (Tw - Cw)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	LF (kg/cm <sup>2</sup> )	LF x 20 cm	JHP (kg/cm)	Fr (%)	Local Description
10.00	22	25	3	22.00	0.20	4.00	289.50	0.91	Silty Sand
10.20	20	25	5	20.00	0.33	6.67	296.17	1.67	Sandy Silt/Silt
10.40	22	27	5	22.00	0.33	6.67	302.84	1.52	Sandy Silt/Silt
10.60	20	25	5	20.00	0.33	6.67	309.51	1.67	Sandy Silt/Silt
10.80	20	25	5	20.00	0.33	6.67	316.18	1.67	Sandy Silt/Silt
11.00	25	28	3	25.00	0.20	4.00	320.18	0.80	Silty Sand
11.20	26	30	4	26.00	0.27	5.34	325.52	1.03	Silty Sand
11.40	30	35	5	30.00	0.33	6.67	332.19	1.11	Silty Sand
11.60	38	42	4	38.00	0.27	5.34	337.52	0.70	Silty Sand
11.80	30	35	5	30.00	0.33	6.67	344.19	1.11	Silty Sand
12.00	30	35	5	30.00	0.33	6.67	350.86	1.11	Silty Sand
12.20	26	28	2	26.00	0.13	2.67	353.53	0.51	Silty Sand
12.40	17	23	6	17.00	0.40	8.00	361.54	2.35	Sandy Silt/Silt
12.60	16	20	4	16.00	0.27	5.34	366.87	1.67	Sandy Silt/Silt
12.80	18	22	4	18.00	0.27	5.34	372.21	1.48	Sandy Silt/Silt
13.00	25	30	5	25.00	0.33	6.67	378.88	1.33	Silty Sand
13.20	25	30	5	25.00	0.33	6.67	385.55	1.33	Silty Sand
13.40	20	23	3	20.00	0.20	4.00	389.55	1.00	Silty Sand
13.60	20	22	2	20.00	0.13	2.67	392.22	0.67	Silty Sand
13.80	27	30	3	27.00	0.20	4.00	396.22	0.74	Silty Sand
14.00	27	30	3	27.00	0.20	4.00	400.22	0.74	Silty Sand
14.20	29	33	4	29.00	0.27	5.34	405.56	0.92	Silty Sand
14.40	26	30	4	26.00	0.27	5.34	410.90	1.03	Silty Sand
14.60	27	30	3	27.00	0.20	4.00	414.90	0.74	Silty Sand
14.80	38	42	4	38.00	0.27	5.34	420.24	0.70	Silty Sand
15.00	40	44	4	40.00	0.27	5.34	425.57	0.67	Silty Sand
15.20	40	45	5	40.00	0.33	6.67	432.24	0.83	Silty Sand
15.40	30	36	6	30.00	0.40	8.00	440.25	1.33	Silty Sand
15.60	25	28	3	25.00	0.20	4.00	444.25	0.80	Silty Sand
15.80	25	28	3	25.00	0.20	4.00	448.25	0.80	Silty Sand
16.00	22	26	4	22.00	0.27	5.34	453.59	1.21	Silty Sand
16.20	23	27	4	23.00	0.27	5.34	458.92	1.16	Silty Sand
16.40	26	30	4	26.00	0.27	5.34	464.26	1.03	Silty Sand
16.60	25	30	5	25.00	0.33	6.67	470.93	1.33	Silty Sand
16.80	30	35	5	30.00	0.33	6.67	477.60	1.11	Silty Sand
17.00	30	35	5	30.00	0.33	6.67	484.27	1.11	Silty Sand
17.20	20	22	2	20.00	0.13	2.67	486.94	0.67	Silty Sand
17.40	21	25	4	21.00	0.27	5.34	492.28	1.27	Silty Sand
17.60	21	25	4	21.00	0.27	5.34	497.61	1.27	Silty Sand
17.80	26	30	4	26.00	0.27	5.34	502.95	1.03	Silty Sand
18.00	20	23	3	20.00	0.20	4.00	506.95	1.00	Silty Sand
18.20	20	23	3	20.00	0.20	4.00	510.95	1.00	Silty Sand
18.40	30	33	3	30.00	0.20	4.00	514.96	0.67	Silty Sand
18.60	40	45	5	40.00	0.33	6.67	521.63	0.83	Silty Sand
18.80	42	46	4	42.00	0.27	5.34	526.96	0.64	Silty Sand
19.00	28	32	4	28.00	0.27	5.34	532.30	0.95	Silty Sand
19.20	23	27	4	23.00	0.27	5.34	537.63	1.16	Silty Sand
19.40	21	25	4	21.00	0.27	5.34	542.97	1.27	Silty Sand
19.60	35	40	5	35.00	0.33	6.67	549.64	0.95	Silty Sand
19.80	35	40	5	35.00	0.33	6.67	556.31	0.95	Silty Sand
20.00	37	42	5	37.00	0.33	6.67	562.98	0.90	Silty Sand

						CPT LOG		CPT HOLE NO:	
								S-B	
								COORDINATES:	
						PAGE : 3 OF 4		EAST	
						DATE : 4-9-2017		SOUTH	
Project : Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung						Operator : Iman			
Location : Area Vacuum						Loged by : Bustanul			
GWL : 2.5 m						Checked by : Shouman			
Depth (m)	Cw (kg/cm <sup>2</sup> )	Tw (kg/cm <sup>2</sup> )	Kw (Tw - Cw)	qc (kg/cm <sup>2</sup> )	LF (kg/cm <sup>2</sup> )	LF x 20 cm	JHP (kg/cm)	Fr (%)	Local Description
20.00	37	42	5	37.00	0.33	6.67	562.98	0.90	Silty Sand
20.20	30	33	3	30.00	0.20	4.00	566.98	0.67	Silty Sand
20.40	40	45	5	40.00	0.33	6.67	573.65	0.83	Silty Sand
20.60	40	44	4	40.00	0.27	5.34	578.99	0.67	Silty Sand
20.80	36	40	4	36.00	0.27	5.34	584.33	0.74	Silty Sand
21.00	36	40	4	36.00	0.27	5.34	589.66	0.74	Silty Sand
21.20	30	35	5	30.00	0.33	6.67	596.33	1.11	Silty Sand
21.40	33	37	4	33.00	0.27	5.34	601.67	0.81	Silty Sand
21.60	33	37	4	33.00	0.27	5.34	607.01	0.81	Silty Sand
21.80	50	53	3	50.00	0.20	4.00	611.01	0.40	Sand
22.00	56	60	4	56.00	0.27	5.34	616.35	0.48	Sand
22.20	60	65	5	60.00	0.33	6.67	623.02	0.56	Sand
22.40	60	65	5	60.00	0.33	6.67	629.69	0.56	Sand
22.60	50	55	5	50.00	0.33	6.67	636.36	0.67	Sand
22.80	52	58	6	52.00	0.40	8.00	644.36	0.77	Sand
23.00	55	60	5	55.00	0.33	6.67	651.03	0.61	Sand
23.20	70	75	5	70.00	0.33	6.67	657.70	0.48	Sand
23.40	73	77	4	73.00	0.27	5.34	663.04	0.37	Sand
23.60	82	86	4	82.00	0.27	5.34	668.37	0.33	Sand
23.80	83	87	4	83.00	0.27	5.34	673.71	0.32	Sand
24.00	51	53	2	51.00	0.13	2.67	676.38	0.26	Sand
24.20	53	57	4	53.00	0.27	5.34	681.72	0.50	Sand
24.40	50	55	5	50.00	0.33	6.67	688.39	0.67	Sand
24.60	52	58	6	52.00	0.40	8.00	696.39	0.77	Sand
24.80	73	78	5	73.00	0.33	6.67	703.06	0.46	Sand
25.00	73	78	5	73.00	0.33	6.67	709.73	0.46	Sand
25.20	50	55	5	50.00	0.33	6.67	716.40	0.67	Sand
25.40	50	55	5	50.00	0.33	6.67	723.07	0.67	Sand
25.60	43	47	4	43.00	0.27	5.34	728.41	0.62	Sand
25.80	43	47	4	43.00	0.27	5.34	733.74	0.62	Sand
26.00	43	47	4	43.00	0.27	5.34	739.08	0.62	Sand
26.20	50	55	5	50.00	0.33	6.67	745.75	0.67	Sand
26.40	50	55	5	50.00	0.33	6.67	752.42	0.67	Sand
26.60	50	55	5	50.00	0.33	6.67	759.09	0.67	Sand
26.80	63	67	4	63.00	0.27	5.34	764.43	0.42	Sand
27.00	73	78	5	73.00	0.33	6.67	771.10	0.46	Sand
27.20	73	78	5	73.00	0.33	6.67	777.77	0.46	Sand
27.40	95	100	5	95.00	0.33	6.67	784.44	0.35	Sand
27.60	95	100	5	95.00	0.33	6.67	791.11	0.35	Sand
27.80	115	120	5	115.00	0.33	6.67	797.78	0.29	Sand
28.00	115	120	5	115.00	0.33	6.67	804.45	0.29	Sand
28.20	135	138	3	135.00	0.20	4.00	808.45	0.15	Sand
28.40	140	143	3	140.00	0.20	4.00	812.46	0.14	Sand
28.60	145	150	5	145.00	0.33	6.67	819.13	0.23	Sand
28.80	147	155	8	147.00	0.53	10.67	829.80	0.36	Sand
29.00	147	156	9	147.00	0.60	12.01	841.80	0.41	Sand
29.20	150	160	10	150.00	0.67	13.34	855.15	0.44	Sand
29.40	152	165	13	152.00	0.87	17.34	872.49	0.57	Sand
29.60	160	175	15	160.00	1.00	20.01	892.50	0.63	Sand
29.80	165	177	12	165.00	0.80	16.01	908.51	0.49	Sand
30.00	168	180	12	168.00	0.80	16.01	924.52	0.48	Sand



**b. Standard Penetration Test (SPT)**

Hole No.										BH-A									
Project Location : Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung : Area Vacuum					Methods : Rotary drilling					Bore Machine : TOHO					Drill Master : Iman				
					Inclination :					Started : 31-08-2017					Logged by : Bustanul ilmi				
Area of Designation :					Depth : 30 m					Finished : 02-09-2017					Checked by : Shouman				
Coordinate		X				GWL - m					Approved by :								
Y																			
Z																			
Date	Ground Water Level (m)	Depth (m)	Graph Symbol	ROCK/SOIL DESCRIPTION	USCS Chart	Core Recovery (%)	ROCK CLASSIFICATION		Core Dia. & Barrel Type	Casing Inserted & Dia.	UJI PENETRASI/PENETRATION TEST						Depth (m)	Soil/Rock Sample	
							Class	Joint Interval			N Value				GRAPH (N Value)				
											N1	N2	N3	N TOTAL	10 20 30 40 50 60				
		0		Lanau pasiran (Urugan) Coklat													0		
		1		Lanau lempungan														1	
		2		Abu kehitaman Sangat lunak - lunak						1	1	1	2					2	
		3																	
		4								1	1	1	2					4	
		5																	
		6								1	1	1	2					6	UDS
		7																	
		8								1	1	1	2					8	
		9																	
		10								1	1	2	3					10	UDS
		11																	
		12								1	2	2	4					12	
		13																	
		14								1	2	3	5					14	
		15																	
		16								1	1	3	4					16	UDS
		17																	
		18								1	2	3	5					18	
		19		Lanau lempungan Abu kehitaman Medium															
		20								2	3	6	9					20	UDS
		21																	
		22								3	3	4	7					22	
		23																	
		24								2	3	5	8					24	
		25																	
		26								3	5	5	10					26	UDS
		27		Pasir lanauan Abu kehitaman Sangat padat															
		28								21	27	25	52					28	DS
		29																	
		30								20	25	25	50					30	DS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN 2

### HASIL UJI FISIK TANAH

#### a. *Specific Gravity* ( $G_s$ )

No.	Uraian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
1	No. Piknometer		100	23	
2	Berat Piknometer kosong	gr	89,899	115,056	
3	Berat Pikno + tanah kering	gr	132,694	156,308	
4	Berat tanah kering	gr	42,795	41,252	
5	Berat Pikno + air + tanah (setelah divakum)	gr	364,172	388,684	
6	Temperatur	°C	27	30	
7	Berat Pikno + air suling	gr	337,840	363,770	
8	Berat Pikno + air + tanah kering	gr	380,635	405,022	
9	<i>Specific Gravity</i> ( $G_s$ )		2,599	2,525	2,562

#### b. Kadar Air ( $w_c$ )

UDS 1			
No.	Uraian	Satuan	Sampel
1	No. cawan		185
2	Berat cawan kosong	gr	39,340
3	Berat cawan + tanah basah	gr	84,980
4	Berat cawan + tanah kering	gr	58,600
5	Berat air ( $w_w$ )	gr	26,380
6	Berat tanah kering ( $w_s$ )	gr	19,260
7	Kadar air ( $w_c$ )	%	136,968

UDS 2			
No.	Uraian	Satuan	Sampel
1	No. cawan		86
2	Berat cawan kosong	gr	48,290
3	Berat cawan + tanah basah	gr	85,860
4	Berat cawan + tanah kering	gr	60,400
5	Berat air ( $w_w$ )	gr	25,460
6	Berat tanah kering ( $w_s$ )	gr	12,110
7	Kadar air ( $w_c$ )	%	210,239

UDS 3			
No.	Uraian	Satuan	Sampel
1	No. cawan		154
2	Berat cawan kosong	gr	44,640
3	Berat cawan + tanah basah	gr	104,760
4	Berat cawan + tanah kering	gr	73,070
5	Berat air ( $w_w$ )	gr	31,690
6	Berat tanah kering ( $w_s$ )	gr	28,430
7	Kadar air ( $w_c$ )	%	111,467

UDS 4			
No.	Uraian	Satuan	Sampel
1	No. cawan		61
2	Berat cawan kosong	gr	40,490
3	Berat cawan + tanah basah	gr	72,970
4	Berat cawan + tanah kering	gr	51,920
5	Berat air ( $w_w$ )	gr	21,050
6	Berat tanah kering ( $w_s$ )	gr	11,430
7	Kadar air ( $w_c$ )	%	184,164

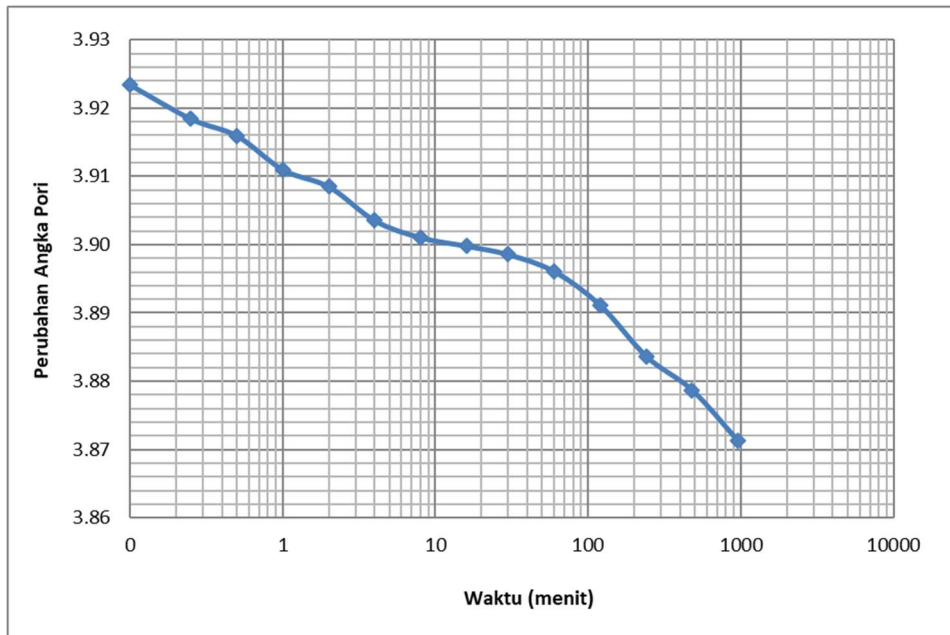
UDS 5			
No.	Uraian	Satuan	Sampel
1	No. cawan		78
2	Berat cawan kosong	gr	41,560
3	Berat cawan + tanah basah	gr	92,110
4	Berat cawan + tanah kering	gr	57,660
5	Berat air ( $w_w$ )	gr	34,450
6	Berat tanah kering ( $w_s$ )	gr	16,100
7	Kadar air ( $w_c$ )	%	213,975

### LAMPIRAN 3

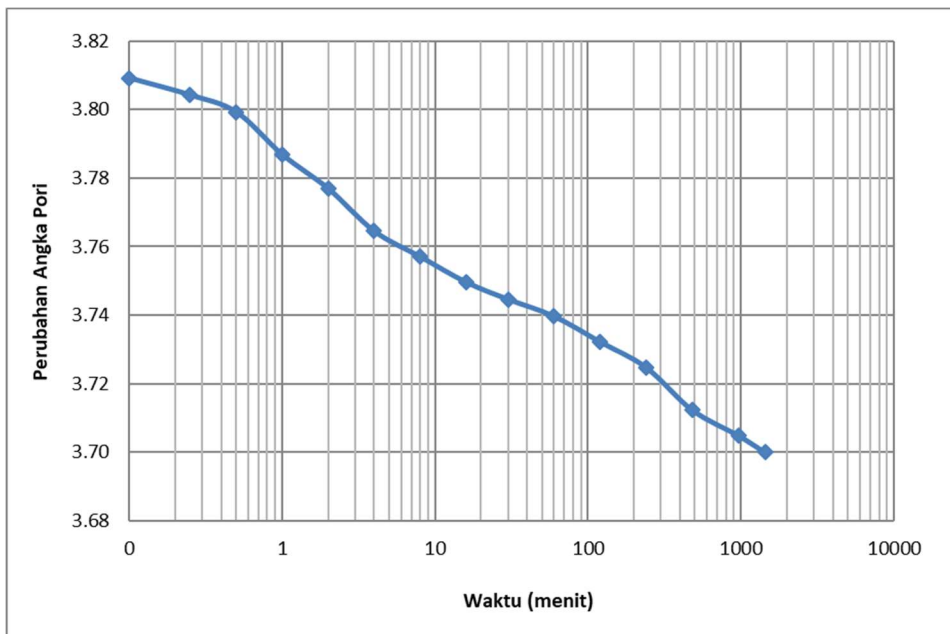
#### HASIL UJI KONSOLIDASI TANAH

a. Grafik Hubungan Perubahan Angka Pori dengan Waktu Pemampatan

- UDS 1 – 0,25 kg/cm<sup>2</sup>

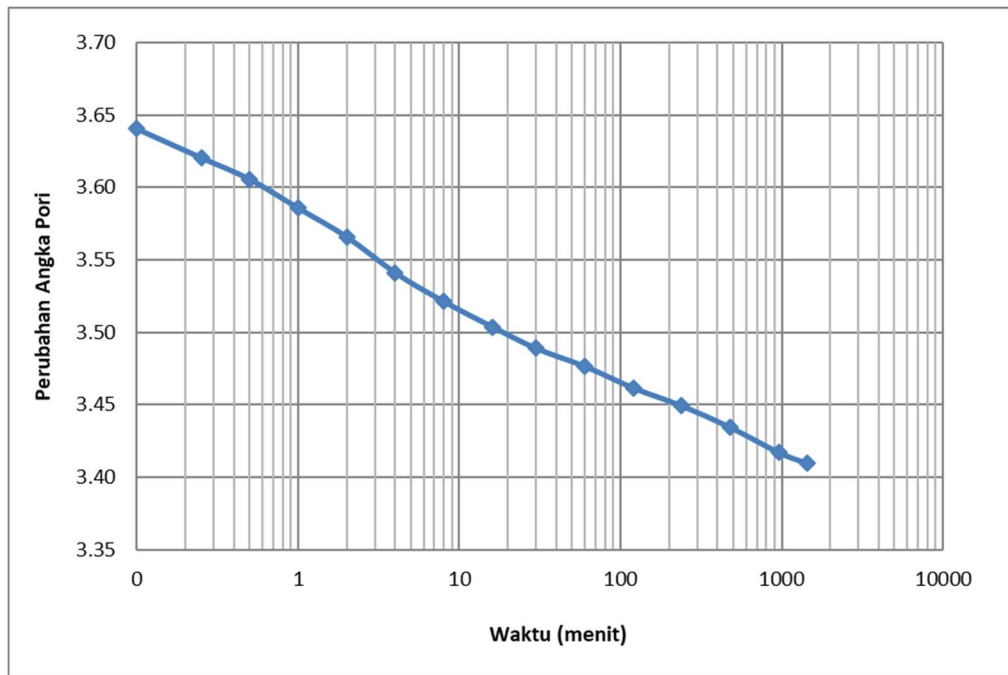


- UDS 1 – 0,5 kg/cm<sup>2</sup>

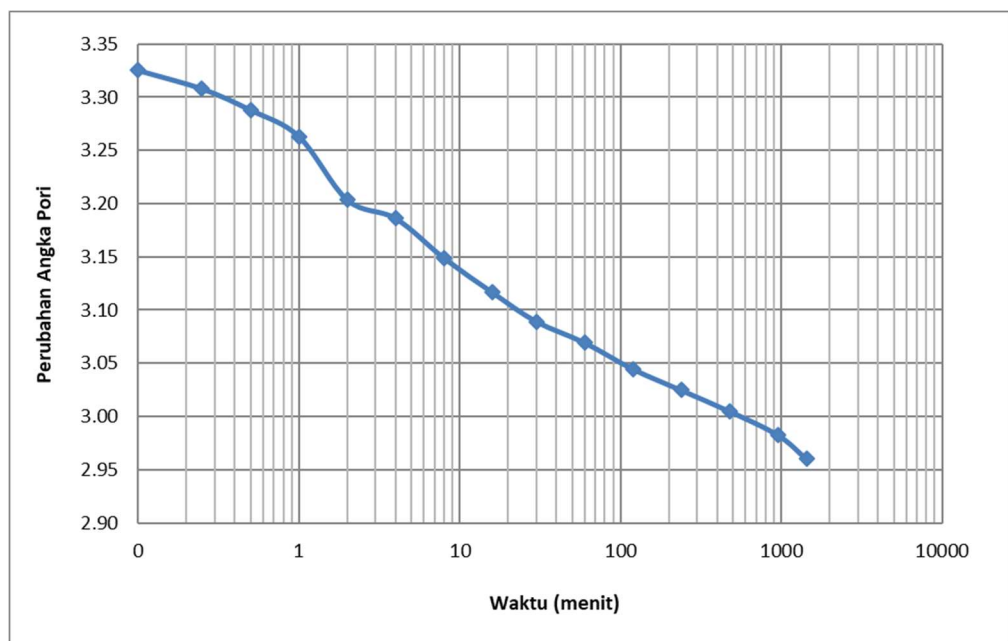




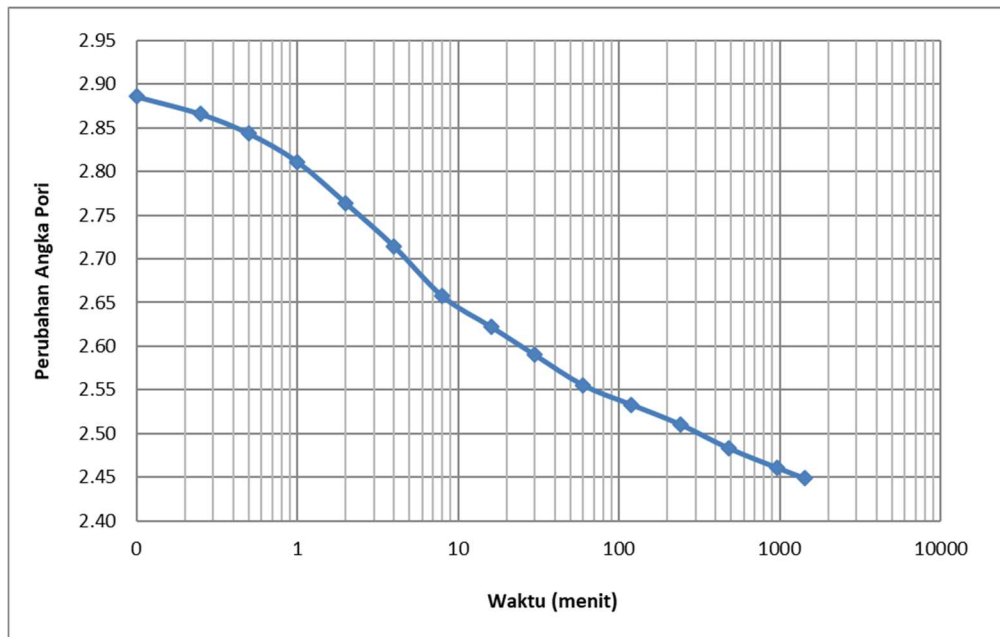
- UDS 1 – 1 kg/cm<sup>2</sup>



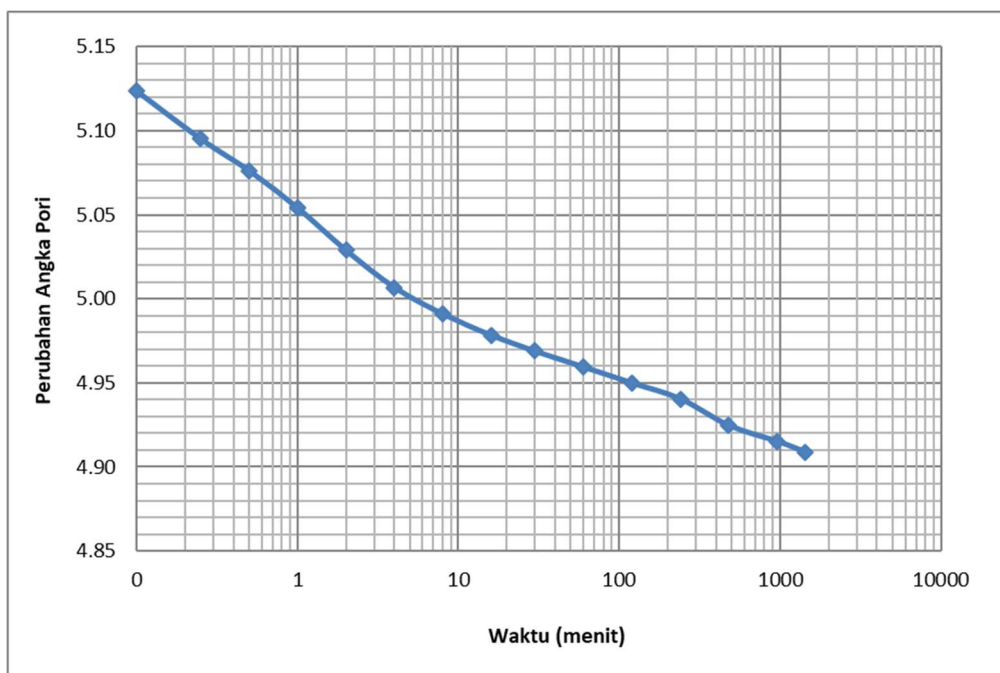
- UDS 1 – 2 kg/cm<sup>2</sup>



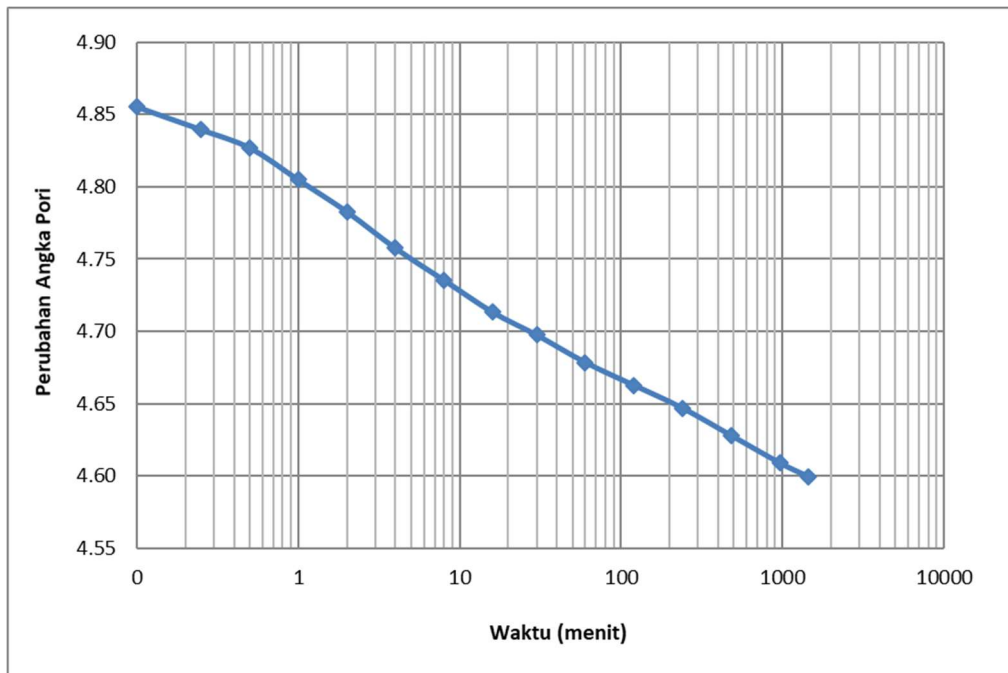
- UDS 1 – 4 kg/cm<sup>2</sup>



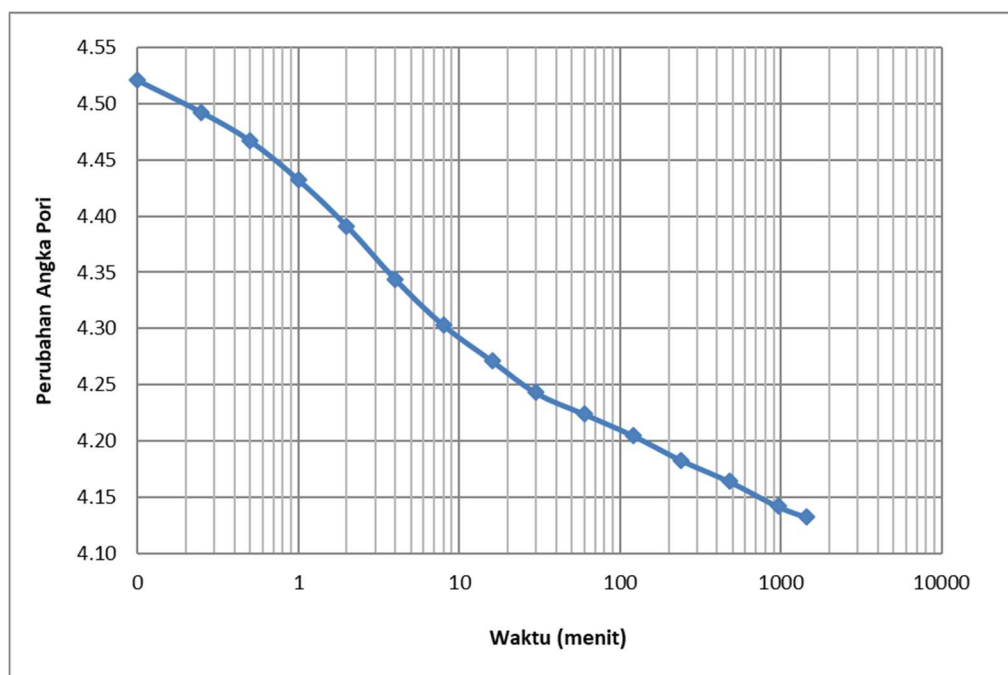
- UDS 2 – 0,25 kg/cm<sup>2</sup>



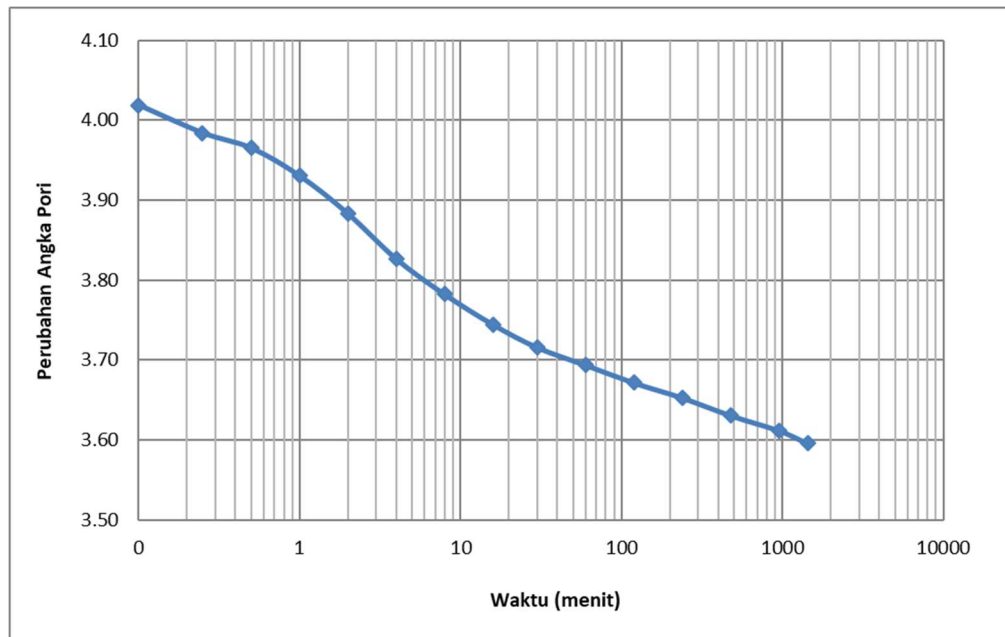
- **UDS 2 – 0,5 kg/cm<sup>2</sup>**



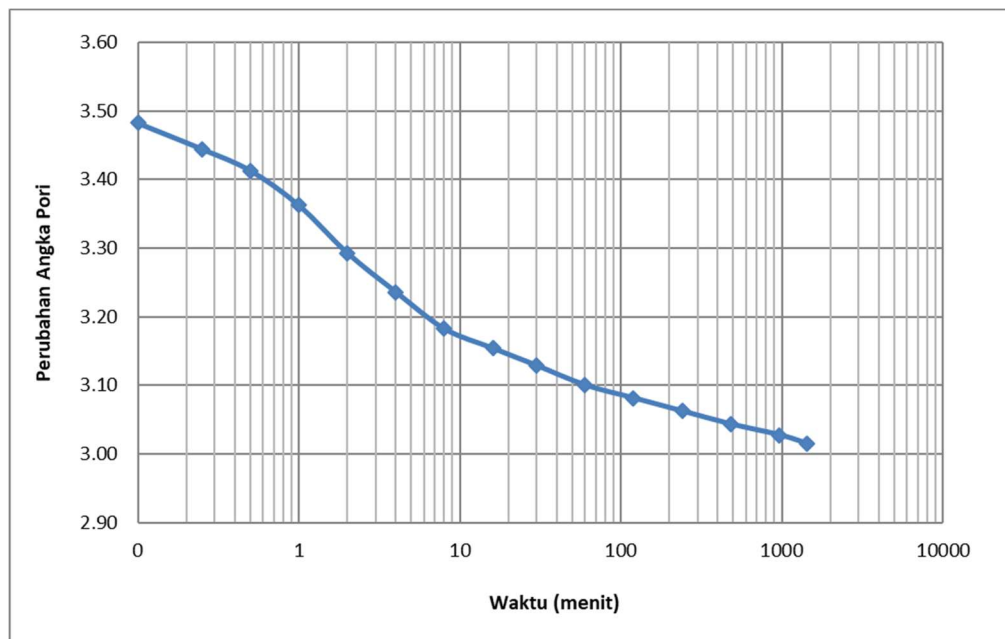
- **UDS 2 – 1 kg/cm<sup>2</sup>**



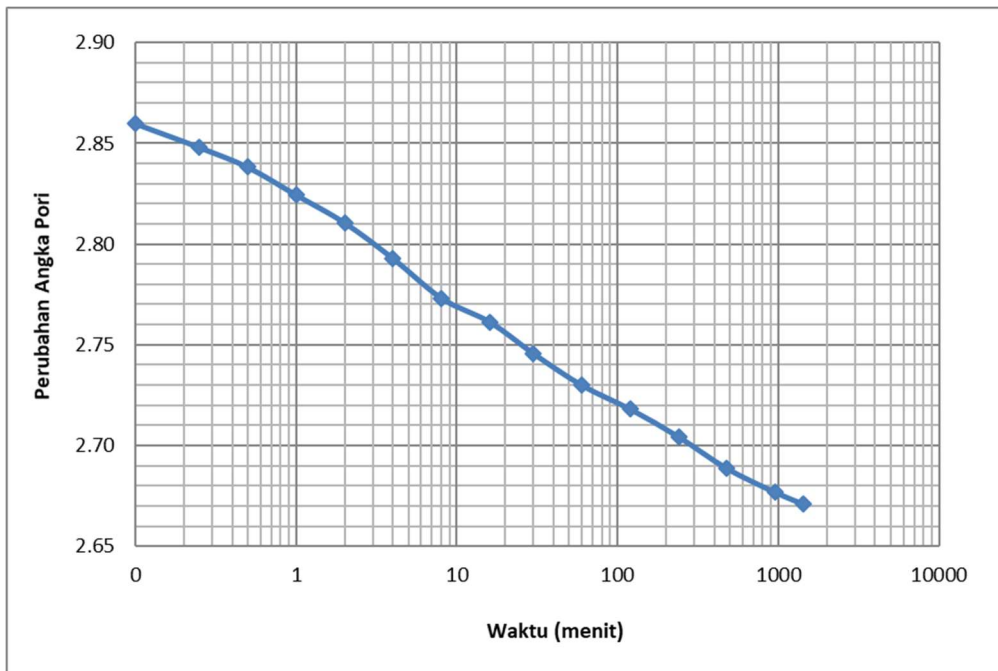
- **UDS 2 – 2 kg/cm<sup>2</sup>**



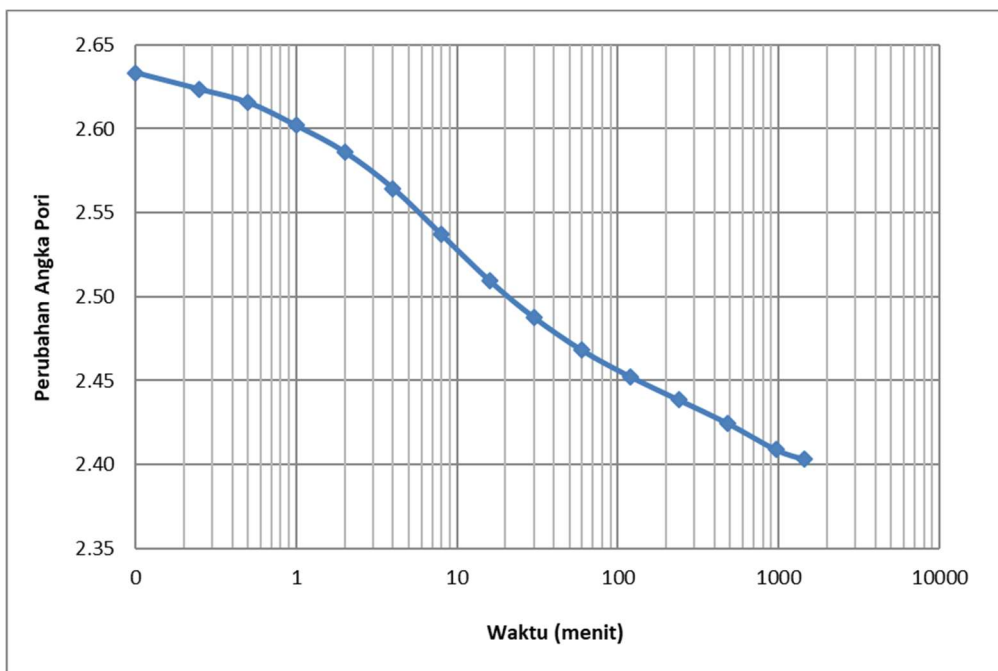
- **UDS 2 – 4 kg/cm<sup>2</sup>**



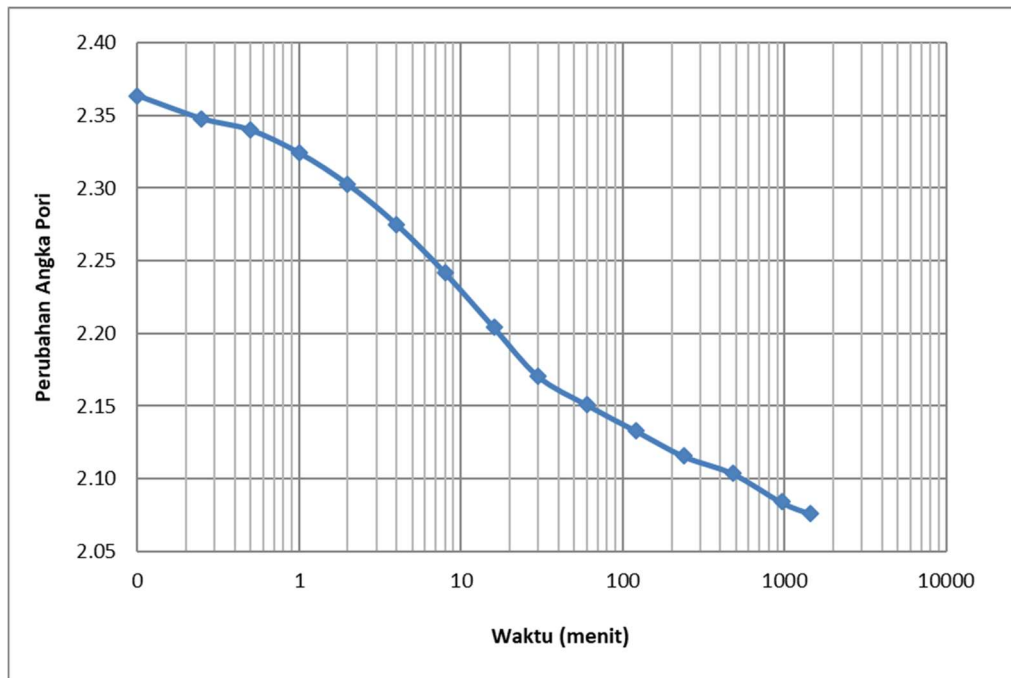
- **UDS 3 – 0,25 kg/cm<sup>2</sup>**



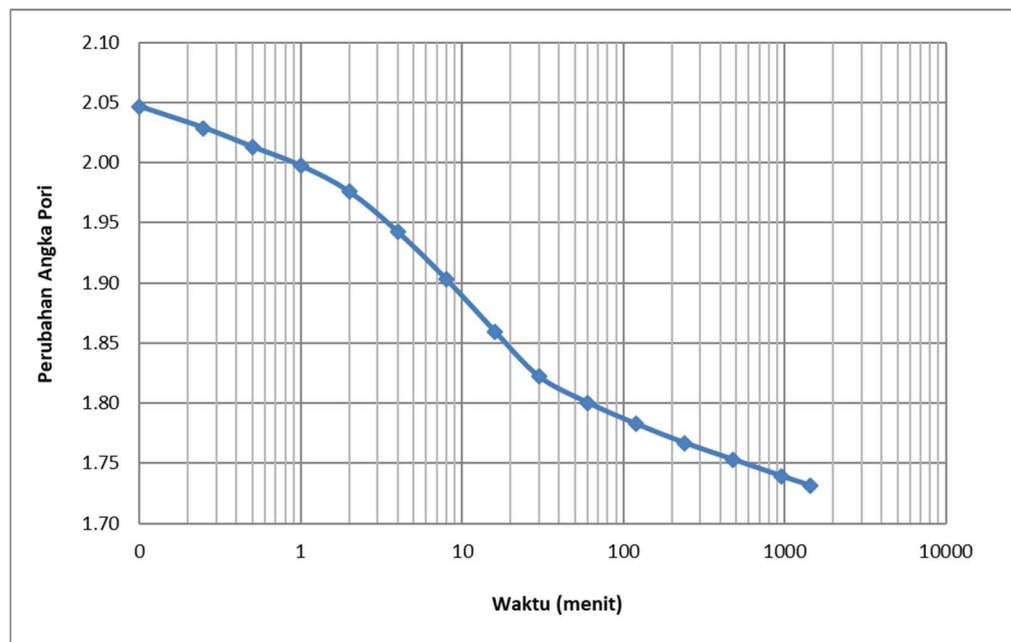
- **UDS 3 – 0,5 kg/cm<sup>2</sup>**



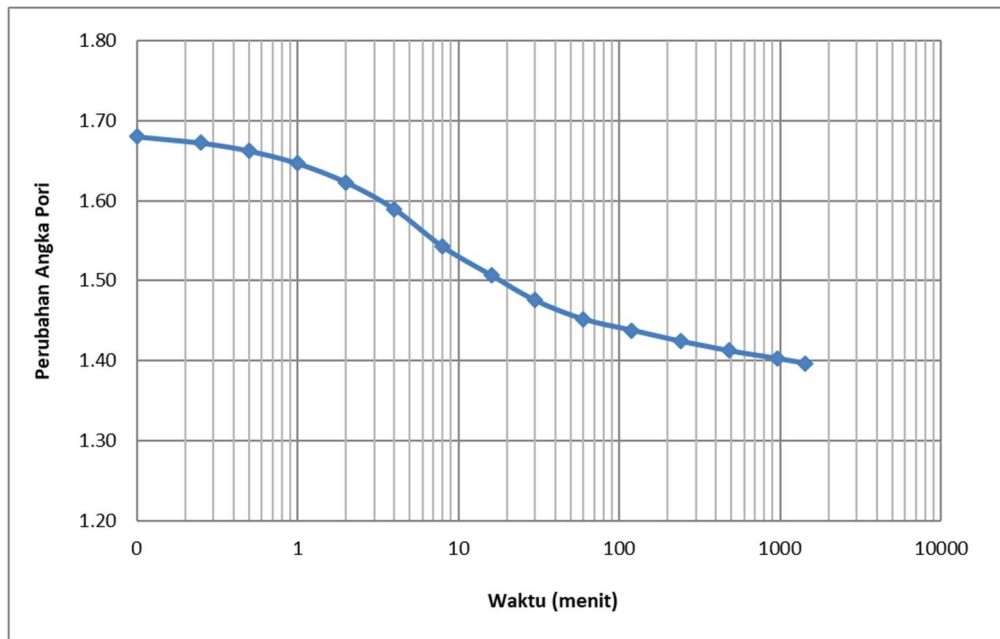
- **UDS 3 – 1 kg/cm<sup>2</sup>**



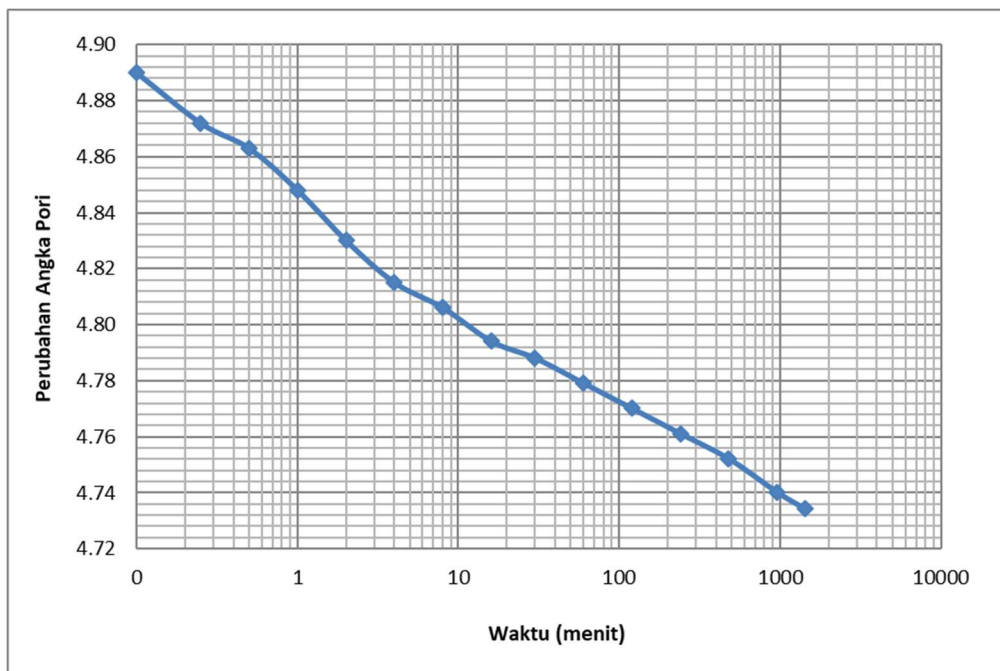
- **UDS 3 – 2 kg/cm<sup>2</sup>**



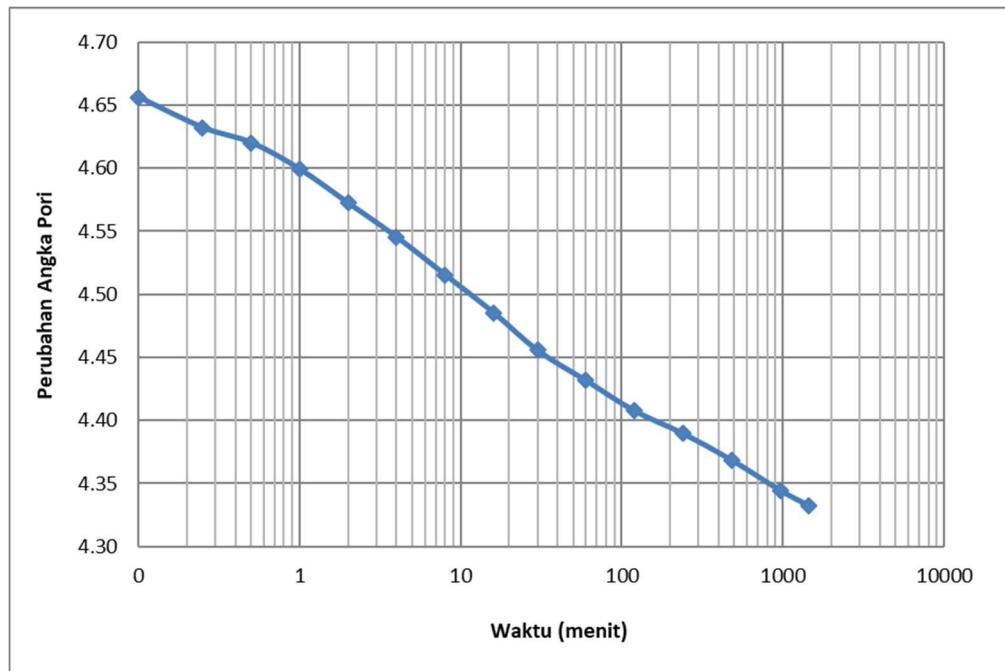
- UDS 3 – 4 kg/cm<sup>2</sup>



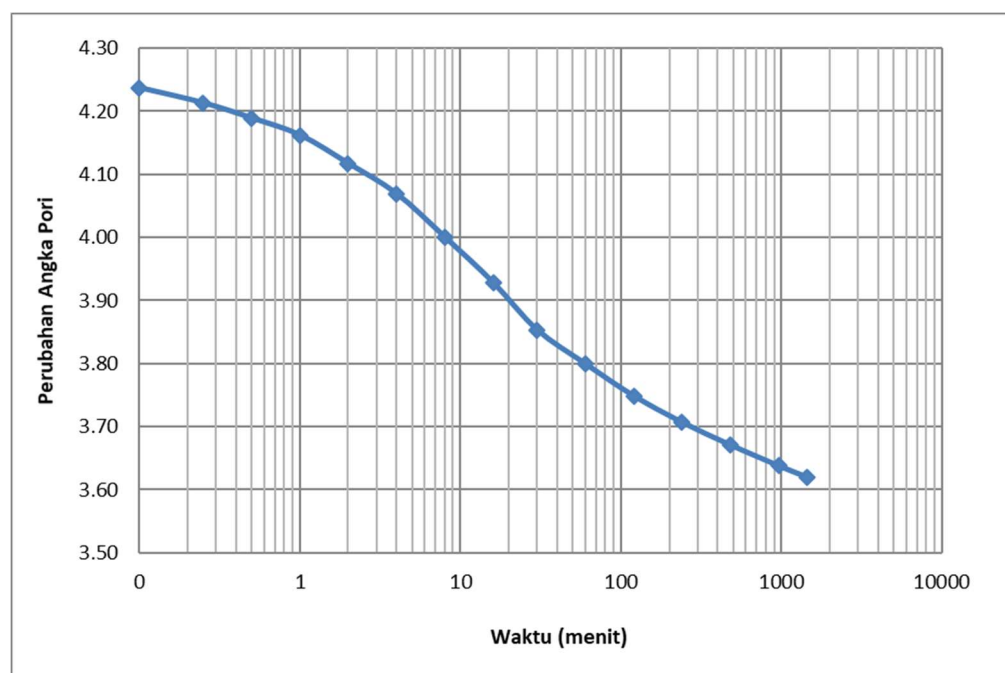
- UDS 4 – 0,25 kg/cm<sup>2</sup>



- UDS 4 – 0,5 kg/cm<sup>2</sup>

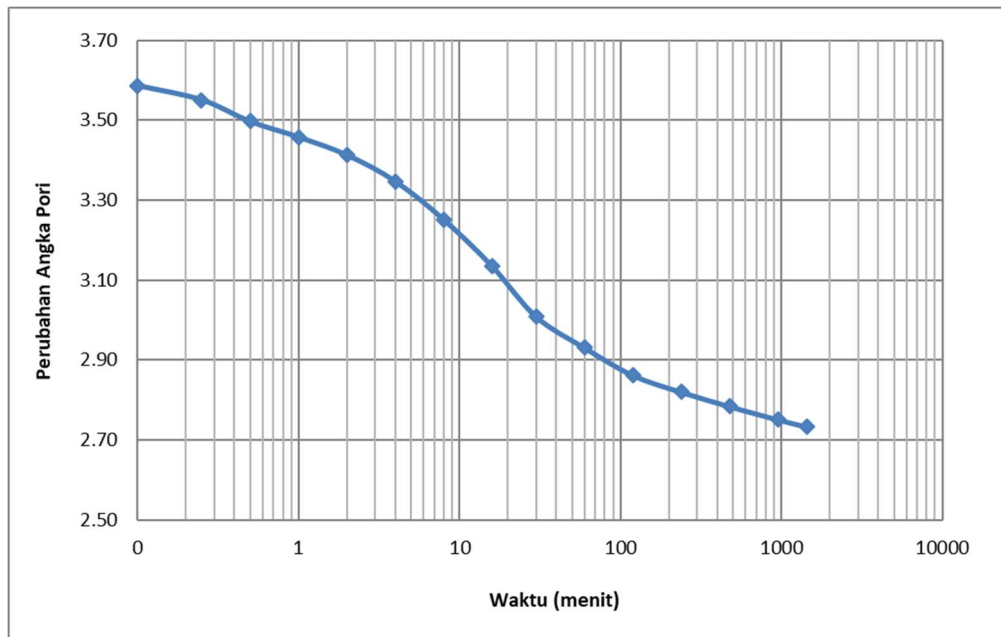


- UDS 4 – 1 kg/cm<sup>2</sup>

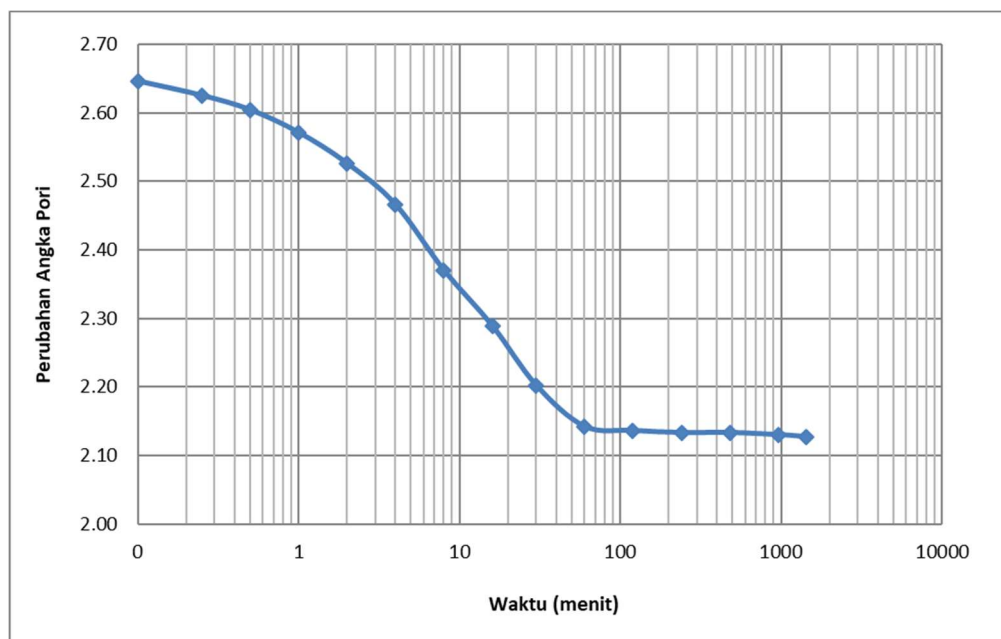




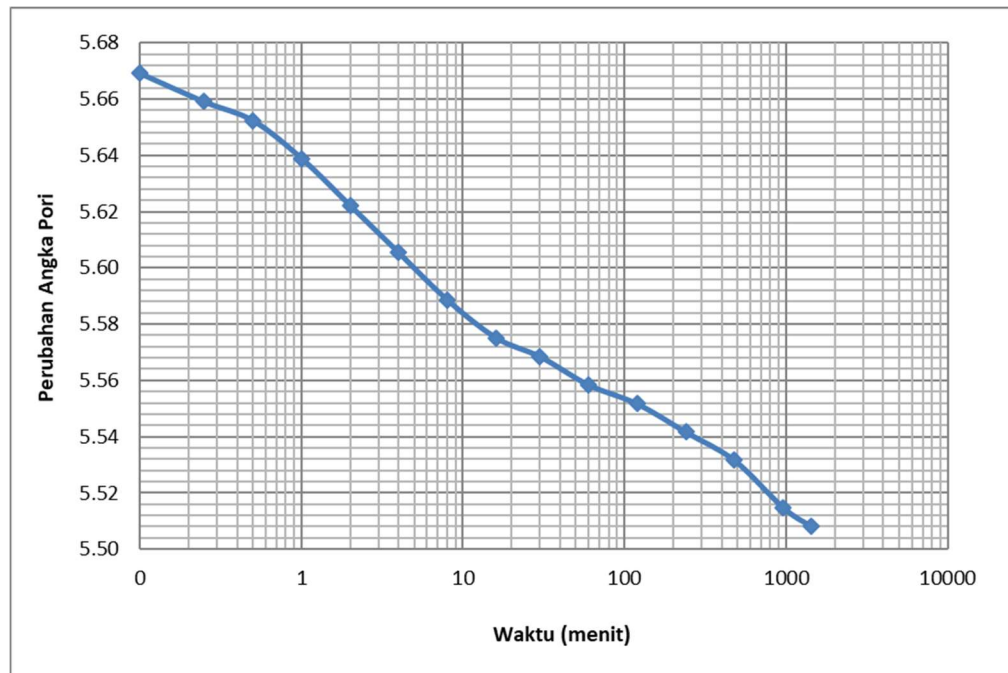
- UDS 4 – 2 kg/cm<sup>2</sup>



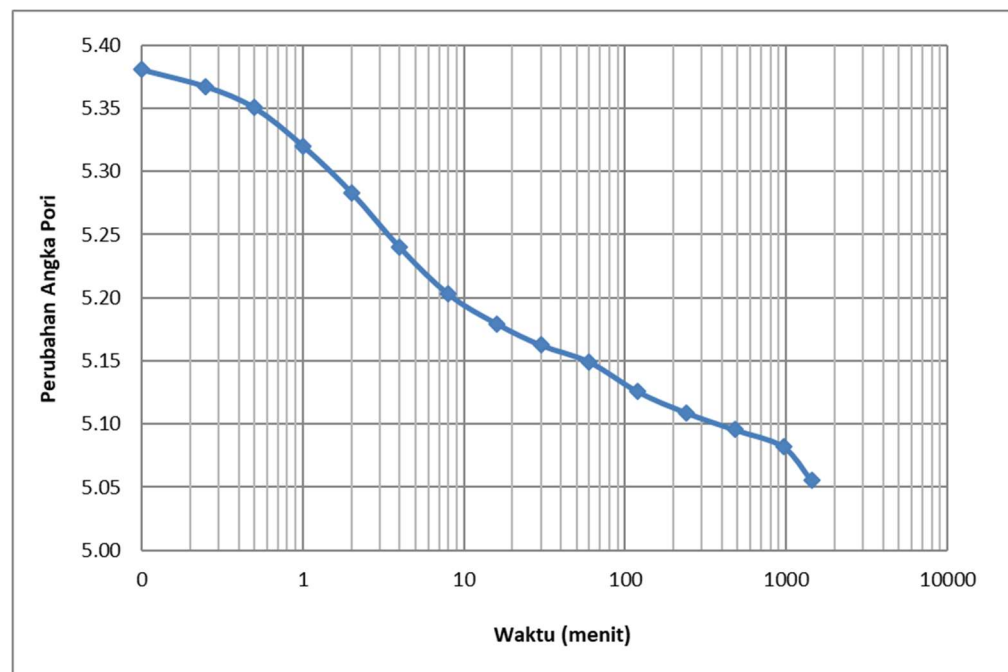
- UDS 4 – 4 kg/cm<sup>2</sup>



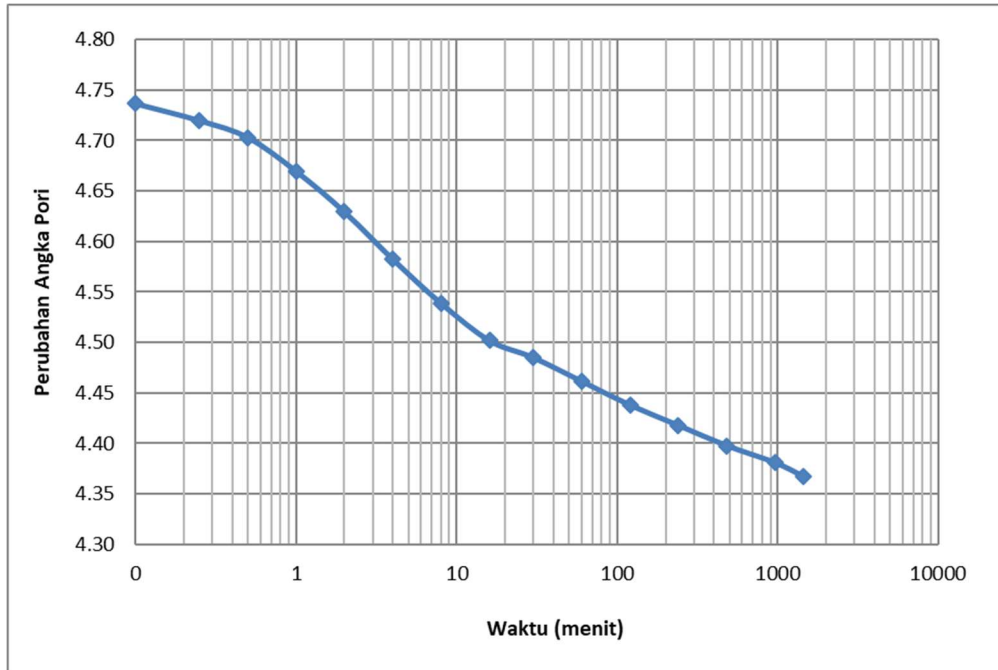
- **UDS 5 – 0,25 kg/cm<sup>2</sup>**



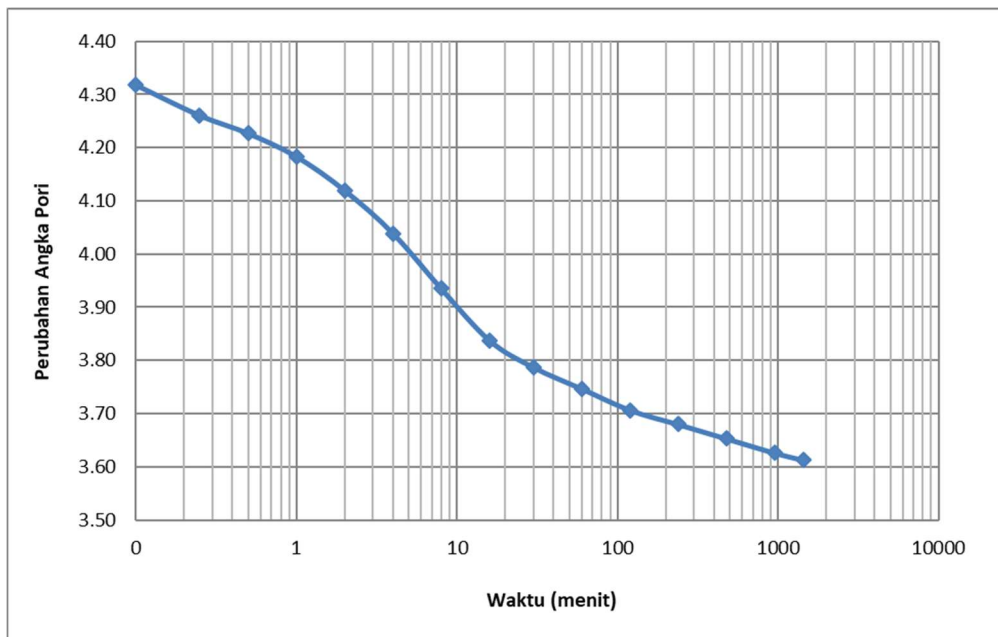
- **UDS 5 – 0,5 kg/cm<sup>2</sup>**



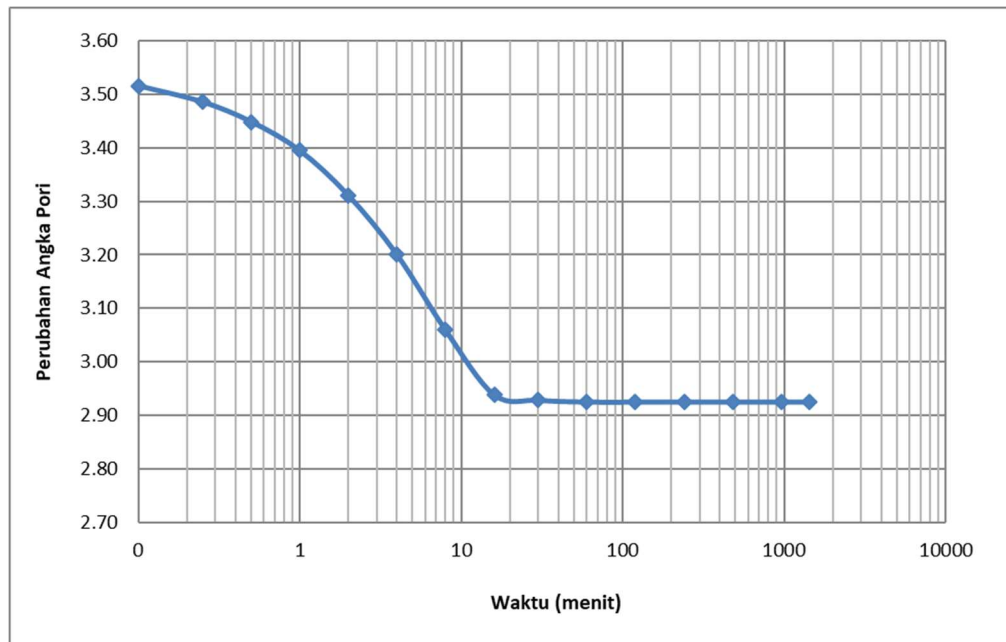
- UDS 5 – 1 kg/cm<sup>2</sup>



- UDS 5 – 2 kg/cm<sup>2</sup>



- UDS 5 – 4 kg/cm<sup>2</sup>



**b. Rekap Hasil Uji Konsolidasi Tanah**

<b>SAMPEL</b>	<b>P'</b>	<b>e<sub>0</sub></b>	<b>e<sub>p</sub></b>	<b>C<sub>α</sub></b>	<b>C'<sub>α</sub></b>
<b>UDS 1</b>	0.25	3.966	3.885	0.0400	0.0082
	0.5	3.846	3.725	0.0458	0.0097
	1	3.700	3.479	0.0684	0.0153
	2	3.409	3.080	0.1711	0.0419
	4	2.960	2.590	0.1916	0.0534
<b>UDS 2</b>	0.25	5.313	4.980	0.0240	0.0040
	0.5	4.909	4.675	0.0458	0.0081
	1	4.600	4.240	0.0616	0.0118
	2	4.132	3.705	0.1026	0.0218
	4	3.596	3.151	0.1369	0.0330
<b>UDS 3</b>	0.25	2.939	2.715	0.0160	0.0043
	0.5	2.671	2.475	0.0366	0.0105
	1	2.403	2.151	0.0547	0.0174
	2	2.076	1.805	0.0890	0.0317
	4	1.731	1.475	0.1026	0.0415
<b>UDS 4</b>	0.25	4.992	4.782	0.0080	0.0014
	0.5	4.734	4.455	0.0275	0.0050
	1	4.333	3.785	0.0753	0.0157
	2	3.620	2.900	0.0684	0.0175
	4	2.733	2.155	0.1026	0.0325
<b>UDS 5</b>	0.25	5.709	5.564	0.0240	0.0037
	0.5	5.508	5.185	0.0458	0.0074
	1	5.055	4.995	0.0684	0.0114
	2	4.367	3.790	0.1026	0.0214
	4	3.613	2.935	0.0684	0.0174

## LAMPIRAN 4

### PERHITUNGAN PEMAMPATAN TANAH

#### a. Pemampatan Primer

Asumsi :

Y<sub>timbunan</sub> 1.7 t/m<sup>3</sup> a 3.53 m  
q 3 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	Z (m)	e <sub>0</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>s</sub>	Y <sub>sat</sub> (t/m <sup>3</sup> )	γ' (t/m <sup>3</sup> )	γ' x H (t/m <sup>2</sup> )	σ' <sub>0</sub> (t/m <sup>2</sup> )	σ <sub>c</sub> (t/m <sup>2</sup> )	OCR	NC/OC Soil	a/z	b/z	2 x I	Δσ (t/m <sup>2</sup> )	σ' <sub>0</sub> + Δσ (t/m <sup>2</sup> )	S <sub>c</sub> (m)	ΣS <sub>c</sub> (m)
1	1	0.5	3.966	1.514	0.175	1.223	0.223	1.223	0.611	2.611	4.27	OC Soil	7.059	58.000	1	3	3.611	0.06520	0.065
2	1	1.5	3.966	1.514	0.175	1.223	0.223	1.223	1.834	3.834	2.09	OC Soil	2.353	19.333	1	3	4.834	0.04200	0.107
3	1	2.5	3.966	1.514	0.175	1.223	0.223	0.223	2.557	4.557	1.78	OC Soil	1.412	11.600	1	3	5.556	0.03512	0.142
4	1	3.5	3.966	1.514	0.175	1.223	0.223	0.223	2.779	4.779	1.72	OC Soil	1.008	8.286	1	3	5.777	0.03343	0.176
5	1	4.5	3.966	1.514	0.175	1.223	0.223	0.223	3.002	5.002	1.67	OC Soil	0.784	6.444	0.999	2.996	5.998	0.03188	0.208
6	1	5.5	3.966	1.514	0.175	1.223	0.223	0.223	3.224	5.224	1.62	OC Soil	0.642	5.273	0.998	2.993	6.217	0.03045	0.238
7	1	6.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	3.465	5.465	1.58	OC Soil	0.543	4.462	0.996	2.989	6.454	0.03144	0.270
8	1	7.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	3.724	5.724	1.54	OC Soil	0.471	3.867	0.994	2.983	6.707	0.02991	0.299
9	1	8.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	3.983	5.983	1.50	OC Soil	0.415	3.412	0.992	2.975	6.959	0.02847	0.328
10	1	9.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	4.242	6.242	1.47	OC Soil	0.372	3.053	0.989	2.966	7.209	0.02712	0.355
11	1	10.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.560	6.560	1.44	OC Soil	0.336	2.762	0.985	2.955	7.515	0.03100	0.386
12	1	11.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.935	6.935	1.41	OC Soil	0.307	2.522	0.981	2.943	7.878	0.02905	0.415
13	1	12.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	5.311	7.311	1.38	OC Soil	0.282	2.320	0.976	2.929	8.239	0.02726	0.442
14	1	13.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	5.686	7.686	1.35	OC Soil	0.261	2.148	0.971	2.913	8.599	0.02560	0.468
15	1	14.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	6.062	8.062	1.33	OC Soil	0.243	2.000	0.965	2.895	8.957	0.02406	0.492
16	1	15.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	6.438	8.438	1.31	OC Soil	0.228	1.871	0.959	2.876	9.313	0.02261	0.515
17	1	16.5	4.992	3.016	0.348	1.215	0.215	0.215	6.733	8.733	1.30	OC Soil	0.214	1.758	0.952	2.855	9.588	0.02698	0.542
18	1	17.5	4.992	3.016	0.348	1.215	0.215	0.215	6.948	8.948	1.29	OC Soil	0.202	1.657	0.944	2.832	9.780	0.02583	0.567
19	1	18.5	4.992	3.016	0.348	1.215	0.215	0.215	7.163	9.163	1.28	OC Soil	0.191	1.568	0.936	2.809	9.972	0.02471	0.592
20	1	19.5	4.992	3.016	0.348	1.215	0.215	0.215	7.378	9.378	1.27	OC Soil	0.181	1.487	0.928	2.784	10.162	0.02361	0.616

Asumsi :

$V_{\text{timbunan}}$  1.7 t/m<sup>3</sup> a 5.88 m  
 $q$  5 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	Z (m)	$e_0$	$C_c$	$C_s$	$\gamma_{\text{sat}}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma' \times H$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (t/m <sup>2</sup> )	OCR	NC/OC Soil	a/Z	b/Z	2 x I	$\Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$S_c$ (m)	$\Sigma S_c$ (m)
1	1	0.5	3.966	1.51	0.17526	1.223	0.223	1.223	0.611	2.611	4.27	OC Soil	11.765	58.000	1	5	5.611	0.12358	0.124
2	1	1.5	3.966	1.51	0.17526	1.223	0.223	1.223	1.834	3.834	2.09	OC Soil	3.922	19.333	1	5	6.834	0.08786	0.211
3	1	2.5	3.966	1.51	0.17526	1.223	0.223	0.223	2.557	4.557	1.78	OC Soil	2.353	11.600	1	5	7.556	0.07584	0.287
4	1	3.5	3.966	1.51	0.17526	1.223	0.223	0.223	2.779	4.779	1.72	OC Soil	1.681	8.286	1	5	7.776	0.07279	0.360
5	1	4.5	3.966	1.51	0.17526	1.223	0.223	0.223	3.002	5.002	1.67	OC Soil	1.307	6.444	0.999	4.994	7.996	0.06997	0.430
6	1	5.5	3.966	1.51	0.17526	1.223	0.223	0.223	3.224	5.224	1.62	OC Soil	1.070	5.273	0.998	4.989	8.214	0.06733	0.497
7	1	6.5	5.313	2.28	0.17039	1.259	0.259	0.259	3.465	5.465	1.58	OC Soil	0.905	4.462	0.997	4.983	8.448	0.07370	0.571
8	1	7.5	5.313	2.28	0.17039	1.259	0.259	0.259	3.724	5.724	1.54	OC Soil	0.784	3.867	0.995	4.974	8.698	0.07071	0.642
9	1	8.5	5.313	2.282	0.17039	1.259	0.259	0.259	3.983	5.983	1.50	OC Soil	0.692	3.412	0.993	4.963	8.946	0.06790	0.710
10	1	9.5	5.313	2.282	0.17039	1.259	0.259	0.259	4.242	6.242	1.47	OC Soil	0.619	3.053	0.990	4.949	9.191	0.06525	0.775
11	1	10.5	2.939	1.674	0.14719	1.376	0.376	0.376	4.560	6.560	1.44	OC Soil	0.560	2.762	0.986	4.932	9.492	0.07411	0.849
12	1	11.5	2.939	1.674	0.14719	1.376	0.376	0.376	4.935	6.935	1.41	OC Soil	0.512	2.522	0.983	4.913	9.849	0.07026	0.919
13	1	12.5	2.939	1.67	0.14719	1.376	0.376	0.376	5.311	7.311	1.38	OC Soil	0.471	2.320	0.978	4.891	10.202	0.06670	0.986
14	1	13.5	2.939	1.67	0.14719	1.376	0.376	0.376	5.686	7.686	1.35	OC Soil	0.436	2.148	0.973	4.867	10.553	0.06340	1.049
15	1	14.5	2.939	1.67	0.14719	1.376	0.376	0.376	6.062	8.062	1.33	OC Soil	0.406	2.000	0.968	4.840	10.902	0.06033	1.110
16	1	15.5	2.939	1.67	0.14719	1.376	0.376	0.376	6.438	8.438	1.31	OC Soil	0.380	1.871	0.962	4.810	11.247	0.05745	1.167
17	1	16.5	4.992	3.02	0.34833	1.215	0.215	0.215	6.733	8.733	1.30	OC Soil	0.357	1.758	0.956	4.778	11.511	0.06695	1.234
18	1	17.5	4.992	3.02	0.34833	1.215	0.215	0.215	6.948	8.948	1.29	OC Soil	0.336	1.657	0.949	4.743	11.691	0.06485	1.299
19	1	18.5	4.992	3.02	0.34833	1.215	0.215	0.215	7.163	9.163	1.28	OC Soil	0.318	1.568	0.941	4.707	11.869	0.06280	1.362
20	1	19.5	4.992	3.02	0.34833	1.215	0.215	0.215	7.378	9.378	1.27	OC Soil	0.302	1.487	0.934	4.668	12.046	0.06079	1.423

Asumsi :

$V_{\text{timbunan}}$  1.7 t/m<sup>3</sup> a 8.24 m  
 $q$  7 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	Z (m)	$e_0$	$C_c$	$C_s$	$\gamma_{\text{sat}}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma' \times H$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (t/m <sup>2</sup> )	OCR	NC/OC Soil	a/Z	b/Z	2 x I	$\Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$S_c$ (m)	$\Sigma S_c$ (m)
1	1	0.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	1.223	0.611	2.611	4.27	OC Soil	16.471	58.000	1	7	7.611	0.16396	0.164
2	1	1.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	1.223	1.834	3.834	2.09	OC Soil	5.490	19.333	1	7	8.834	0.12186	0.286
3	1	2.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	2.557	4.557	1.78	OC Soil	3.294	11.600	1	7	9.555	0.10695	0.393
4	1	3.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	2.779	4.779	1.72	OC Soil	2.353	8.286	1	7	9.776	0.10310	0.496
5	1	4.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	3.002	5.002	1.67	OC Soil	1.830	6.444	0.999	6.992	9.994	0.09952	0.595
6	1	5.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	3.224	5.224	1.62	OC Soil	1.497	5.273	0.998	6.986	10.211	0.09616	0.692
7	1	6.5	5.313	2.28	0.170	1.259	0.259	0.259	3.465	5.465	1.58	OC Soil	1.267	4.462	0.997	6.978	10.443	0.10698	0.799
8	1	7.5	5.313	2.28	0.170	1.259	0.259	0.259	3.724	5.724	1.54	OC Soil	1.098	3.867	0.995	6.967	10.691	0.10309	0.902
9	1	8.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	3.983	5.983	1.50	OC Soil	0.969	3.412	0.993	6.952	10.936	0.09942	1.001
10	1	9.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	4.242	6.242	1.47	OC Soil	0.867	3.053	0.991	6.934	11.177	0.09596	1.097
11	1	10.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.560	6.560	1.44	OC Soil	0.784	2.762	0.988	6.913	11.473	0.10909	1.206
12	1	11.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.935	6.935	1.41	OC Soil	0.716	2.522	0.984	6.889	11.824	0.10400	1.310
13	1	12.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	5.311	7.311	1.38	OC Soil	0.659	2.320	0.980	6.861	12.171	0.09927	1.409
14	1	13.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	5.686	7.686	1.35	OC Soil	0.610	2.148	0.976	6.829	12.515	0.09487	1.504
15	1	14.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	6.062	8.062	1.33	OC Soil	0.568	2.000	0.971	6.794	12.856	0.09076	1.595
16	1	15.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	6.438	8.438	1.31	OC Soil	0.531	1.871	0.965	6.755	13.192	0.08689	1.682
17	1	16.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	6.733	8.733	1.30	OC Soil	0.499	1.758	0.959	6.713	13.446	0.10092	1.783
18	1	17.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	6.948	8.948	1.29	OC Soil	0.471	1.657	0.953	6.668	13.616	0.09817	1.881
19	1	18.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	7.163	9.163	1.28	OC Soil	0.445	1.568	0.946	6.620	13.783	0.09547	1.976
20	1	19.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	7.378	9.378	1.27	OC Soil	0.422	1.487	0.938	6.569	13.947	0.09283	2.069



Asumsi :

$V_{\text{timbunan}}$  1.7 t/m<sup>3</sup> a 10.59 m  
 $q$  9 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	Z (m)	$e_0$	$C_c$	$C_s$	$\gamma_{\text{sat}}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma' \times H$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (t/m <sup>2</sup> )	OCR	NC/OC Soil	a/Z	b/Z	2 x I	$\Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$S_c$ (m)	$\Sigma S_c$ (m)
1	1	0.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	1.223	0.611	2.611	4.27	OC Soil	21.176	58.000	1	9	9.611	0.19486	0.195
2	1	1.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	1.223	1.834	3.834	2.09	OC Soil	7.059	19.333	1	9	10.834	0.14890	0.344
3	1	2.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	2.557	4.557	1.78	OC Soil	4.235	11.600	1	9	11.555	0.13212	0.476
4	1	3.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	2.779	4.779	1.72	OC Soil	3.025	8.286	1	9	11.775	0.12775	0.604
5	1	4.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	3.002	5.002	1.67	OC Soil	2.353	6.444	1	9	11.993	0.12366	0.727
6	1	5.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	3.224	5.224	1.62	OC Soil	1.925	5.273	0.998	8.984	12.208	0.11982	0.847
7	1	6.5	5.313	2.28	0.170	1.259	0.259	0.259	3.465	5.465	1.58	OC Soil	1.629	4.462	0.997	8.974	12.439	0.13443	0.982
8	1	7.5	5.313	2.28	0.170	1.259	0.259	0.259	3.724	5.724	1.54	OC Soil	1.412	3.867	0.996	8.961	12.685	0.12993	1.111
9	1	8.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	3.983	5.983	1.50	OC Soil	1.246	3.412	0.994	8.943	12.927	0.12568	1.237
10	1	9.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	4.242	6.242	1.47	OC Soil	1.115	3.053	0.991	8.923	13.165	0.12165	1.359
11	1	10.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.560	6.560	1.44	OC Soil	1.008	2.762	0.989	8.897	13.457	0.13854	1.497
12	1	11.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.935	6.935	1.41	OC Soil	0.921	2.522	0.985	8.868	13.803	0.13257	1.630
13	1	12.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	5.311	7.311	1.38	OC Soil	0.847	2.320	0.982	8.835	14.145	0.12702	1.757
14	1	13.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	5.686	7.686	1.35	OC Soil	0.784	2.148	0.977	8.797	14.483	0.12183	1.879
15	1	14.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	6.062	8.062	1.33	OC Soil	0.730	2.000	0.973	8.755	14.817	0.11696	1.996
16	1	15.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	6.438	8.438	1.31	OC Soil	0.683	1.871	0.968	8.708	15.146	0.11238	2.108
17	1	16.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	6.733	8.733	1.30	OC Soil	0.642	1.758	0.962	8.658	15.391	0.13046	2.239
18	1	17.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	6.948	8.948	1.29	OC Soil	0.605	1.657	0.956	8.604	15.552	0.12723	2.366
19	1	18.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	7.163	9.163	1.28	OC Soil	0.572	1.568	0.950	8.546	15.709	0.12407	2.490
20	1	19.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	7.378	9.378	1.27	OC Soil	0.543	1.487	0.943	8.485	15.863	0.12097	2.611

Asumsi :

$V_{\text{timbunan}}$  1.7 t/m<sup>3</sup> a 12.94 m  
 $q$  11 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	Z (m)	$e_0$	$C_c$	$C_s$	$\gamma_{\text{sat}}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma' \times H$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (t/m <sup>2</sup> )	OCR	NC/OC Soil	a/Z	b/Z	2 x I	$\Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$S_c$ (m)	$\Sigma S_c$ (m)
1	1	0.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	1.223	0.611	2.611	4.27	OC Soil	25.882	58.000	1	11	11.611	0.21990	0.220
2	1	1.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	1.223	1.834	3.834	2.09	OC Soil	8.627	19.333	1	11	12.834	0.17134	0.391
3	1	2.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	2.557	4.557	1.78	OC Soil	5.176	11.600	1	11	13.555	0.15326	0.544
4	1	3.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	2.779	4.779	1.72	OC Soil	3.697	8.286	1	11	13.774	0.14852	0.693
5	1	4.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	3.002	5.002	1.67	OC Soil	2.876	6.444	1	11	13.992	0.14408	0.837
6	1	5.5	3.966	1.51	0.175	1.223	0.223	0.223	3.224	5.224	1.62	OC Soil	2.353	5.273	0.998	10.982	14.206	0.13990	0.977
7	1	6.5	5.313	2.28	0.170	1.259	0.259	0.259	3.465	5.465	1.58	OC Soil	1.991	4.462	0.997	10.971	14.436	0.15780	1.135
8	1	7.5	5.313	2.28	0.170	1.259	0.259	0.259	3.724	5.724	1.54	OC Soil	1.725	3.867	0.996	10.955	14.680	0.15286	1.288
9	1	8.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	3.983	5.983	1.50	OC Soil	1.522	3.412	0.994	10.936	14.920	0.14819	1.436
10	1	9.5	5.313	2.282	0.170	1.259	0.259	0.259	4.242	6.242	1.47	OC Soil	1.362	3.053	0.992	10.912	15.155	0.14375	1.580
11	1	10.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.560	6.560	1.44	OC Soil	1.232	2.762	0.989	10.884	15.444	0.16395	1.744
12	1	11.5	2.939	1.674	0.147	1.376	0.376	0.376	4.935	6.935	1.41	OC Soil	1.125	2.522	0.986	10.851	15.786	0.15734	1.901
13	1	12.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	5.311	7.311	1.38	OC Soil	1.035	2.320	0.983	10.813	16.123	0.15118	2.052
14	1	13.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	5.686	7.686	1.35	OC Soil	0.959	2.148	0.979	10.769	16.456	0.14540	2.197
15	1	14.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	6.062	8.062	1.33	OC Soil	0.892	2.000	0.975	10.721	16.783	0.13997	2.337
16	1	15.5	2.939	1.67	0.147	1.376	0.376	0.376	6.438	8.438	1.31	OC Soil	0.835	1.871	0.970	10.669	17.106	0.13484	2.472
17	1	16.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	6.733	8.733	1.30	OC Soil	0.784	1.758	0.965	10.611	17.344	0.15658	2.629
18	1	17.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	6.948	8.948	1.29	OC Soil	0.739	1.657	0.959	10.549	17.497	0.15300	2.782
19	1	18.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	7.163	9.163	1.28	OC Soil	0.700	1.568	0.953	10.483	17.646	0.14949	2.931
20	1	19.5	4.992	3.02	0.348	1.215	0.215	0.215	7.378	9.378	1.27	OC Soil	0.664	1.487	0.947	10.412	17.790	0.14604	3.077

## b. Pemampatan Sekunder

Asumsi :

$\gamma_{\text{timbunan}}$  1.7 t/m<sup>3</sup> a 3.53 m  
q 3 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	e <sub>0</sub>	C <sub>c</sub>	$\sigma'_0$ (t/m <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	e <sub>p</sub>	C <sub><math>\alpha</math></sub>	t <sub>1</sub> (tahun)	t <sub>2</sub> (tahun)	C' <sub><math>\alpha</math></sub>	S <sub>s</sub> (m)	$\Sigma S_s$ (m)
1	1	3.966	1.514	0.611	3	2.797	0.087	0.5	20	0.02284	0.03659	0.037
2	1	3.966	1.514	1.834	3	3.328	0.087	0.5	20	0.02004	0.03210	0.069
3	1	3.966	1.514	2.557	3	3.455	0.087	0.5	20	0.01947	0.03119	0.100
4	1	3.966	1.514	2.779	3	3.484	0.087	0.5	20	0.01934	0.03099	0.131
5	1	3.966	1.514	3.002	2.996	3.510	0.087	0.5	20	0.01923	0.03081	0.162
6	1	3.966	1.514	3.224	2.993	3.534	0.087	0.5	20	0.01913	0.03065	0.192
7	1	5.313	2.282	3.465	2.989	4.697	0.032	0.5	20	0.00566	0.00906	0.201
8	1	5.313	2.282	3.724	2.983	4.730	0.032	0.5	20	0.00562	0.00901	0.210
9	1	5.313	2.282	3.983	2.975	4.760	0.032	0.5	20	0.00560	0.00896	0.219
10	1	5.313	2.282	4.242	2.966	4.788	0.032	0.5	20	0.00557	0.00892	0.228
11	1	2.939	1.674	4.560	2.955	2.575	0.031	0.5	20	0.00873	0.01399	0.242
12	1	2.939	1.674	4.935	2.943	2.599	0.031	0.5	20	0.00868	0.01390	0.256
13	1	2.939	1.674	5.311	2.929	2.619	0.031	0.5	20	0.00863	0.01382	0.270
14	1	2.939	1.674	5.686	2.913	2.638	0.031	0.5	20	0.00858	0.01375	0.284
15	1	2.939	1.674	6.062	2.895	2.655	0.031	0.5	20	0.00854	0.01369	0.297
16	1	2.939	1.674	6.438	2.876	2.670	0.031	0.5	20	0.00851	0.01363	0.311
17	1	4.992	3.016	6.733	2.855	4.529	0.029	0.5	20	0.00520	0.00833	0.319
18	1	4.992	3.016	6.948	2.832	4.544	0.029	0.5	20	0.00519	0.00831	0.328
19	1	4.992	3.016	7.163	2.809	4.558	0.029	0.5	20	0.00517	0.00829	0.336
20	1	4.992	3.016	7.378	2.784	4.572	0.029	0.5	20	0.00516	0.00827	0.344

Asumsi :

$\gamma_{\text{timbunan}}$  1.7 t/m<sup>3</sup> a 5.88 m  
q 5 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	e <sub>0</sub>	C <sub>c</sub>	$\sigma'_0$ (t/m <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	e <sub>p</sub>	C <sub><math>\alpha</math></sub>	t <sub>1</sub> (tahun)	t <sub>2</sub> (tahun)	C' <sub><math>\alpha</math></sub>	S <sub>s</sub> (m)	$\Sigma S_s$ (m)
1	1	3.966	1.514	0.611	5	2.507	0.087	0.5	20	0.02473	0.03961	0.040
2	1	3.966	1.514	1.834	5	3.100	0.087	0.5	20	0.02115	0.03389	0.074
3	1	3.966	1.514	2.557	5	3.253	0.087	0.5	20	0.02039	0.03267	0.106
4	1	3.966	1.514	2.779	5	3.289	0.087	0.5	20	0.02022	0.03240	0.139
5	1	3.966	1.514	3.002	4.994	3.321	0.087	0.5	20	0.02007	0.03215	0.171
6	1	3.966	1.514	3.224	4.989	3.351	0.087	0.5	20	0.01994	0.03194	0.203
7	1	5.313	2.282	3.465	4.983	4.430	0.032	0.5	20	0.00594	0.00951	0.212
8	1	5.313	2.282	3.724	4.974	4.472	0.032	0.5	20	0.00589	0.00944	0.222
9	1	5.313	2.282	3.983	4.963	4.511	0.032	0.5	20	0.00585	0.00937	0.231
10	1	5.313	2.282	4.242	4.949	4.547	0.032	0.5	20	0.00581	0.00931	0.240
11	1	2.939	1.674	4.560	4.932	2.406	0.031	0.5	20	0.00917	0.01469	0.255
12	1	2.939	1.674	4.935	4.913	2.436	0.031	0.5	20	0.00909	0.01456	0.270
13	1	2.939	1.674	5.311	4.891	2.464	0.031	0.5	20	0.00901	0.01444	0.284
14	1	2.939	1.674	5.686	4.867	2.489	0.031	0.5	20	0.00895	0.01434	0.298
15	1	2.939	1.674	6.062	4.840	2.512	0.031	0.5	20	0.00889	0.01424	0.313
16	1	2.939	1.674	6.438	4.810	2.533	0.031	0.5	20	0.00884	0.01416	0.327
17	1	4.992	3.016	6.733	4.778	4.289	0.029	0.5	20	0.00544	0.00871	0.335
18	1	4.992	3.016	6.948	4.743	4.310	0.029	0.5	20	0.00542	0.00868	0.344
19	1	4.992	3.016	7.163	4.707	4.330	0.029	0.5	20	0.00539	0.00864	0.353
20	1	4.992	3.016	7.378	4.668	4.350	0.029	0.5	20	0.00538	0.00861	0.361

Asumsi :

$\gamma_{\text{timbunan}}$  1.7  $\text{t/m}^3$  a 8.24 m  
 $q$  7  $\text{t/m}^2$  b 29 m

Lapisan	H (m)	$e_0$	$C_c$	$\sigma'_0$ ( $\text{t/m}^2$ )	$\Delta\sigma$ ( $\text{t/m}^2$ )	$e_p$	$C_\alpha$	$t_1$ (tahun)	$t_2$ (tahun)	$C'_\alpha$	$S_s$ (m)	$\Sigma S_s$ (m)
1	1	3.966	1.514	0.611	7	2.307	0.087	0.5	20	0.02623	0.04202	0.042
2	1	3.966	1.514	1.834	7	2.932	0.087	0.5	20	0.02206	0.03534	0.077
3	1	3.966	1.514	2.557	7	3.098	0.087	0.5	20	0.02116	0.03390	0.111
4	1	3.966	1.514	2.779	7	3.138	0.087	0.5	20	0.02096	0.03358	0.145
5	1	3.966	1.514	3.002	6.992	3.174	0.087	0.5	20	0.02078	0.03328	0.178
6	1	3.966	1.514	3.224	6.986	3.207	0.087	0.5	20	0.02061	0.03302	0.211
7	1	5.313	2.282	3.465	6.978	4.220	0.032	0.5	20	0.00617	0.00989	0.221
8	1	5.313	2.282	3.724	6.967	4.268	0.032	0.5	20	0.00612	0.00980	0.231
9	1	5.313	2.282	3.983	6.952	4.312	0.032	0.5	20	0.00607	0.00972	0.241
10	1	5.313	2.282	4.242	6.934	4.353	0.032	0.5	20	0.00602	0.00965	0.250
11	1	2.939	1.674	4.560	6.913	2.268	0.031	0.5	20	0.00955	0.01531	0.266
12	1	2.939	1.674	4.935	6.889	2.303	0.031	0.5	20	0.00945	0.01514	0.281
13	1	2.939	1.674	5.311	6.861	2.336	0.031	0.5	20	0.00936	0.01499	0.296
14	1	2.939	1.674	5.686	6.829	2.365	0.031	0.5	20	0.00928	0.01486	0.311
15	1	2.939	1.674	6.062	6.794	2.392	0.031	0.5	20	0.00920	0.01475	0.325
16	1	2.939	1.674	6.438	6.755	2.417	0.031	0.5	20	0.00914	0.01464	0.340
17	1	4.992	3.016	6.733	6.713	4.086	0.029	0.5	20	0.00565	0.00906	0.349
18	1	4.992	3.016	6.948	6.668	4.110	0.029	0.5	20	0.00563	0.00901	0.358
19	1	4.992	3.016	7.163	6.620	4.134	0.029	0.5	20	0.00560	0.00897	0.367
20	1	4.992	3.016	7.378	6.569	4.158	0.029	0.5	20	0.00558	0.00893	0.376

Asumsi :

$\gamma_{\text{timbunan}}$  1.7  $\text{t/m}^3$  a 10.59 m  
 $q$  9  $\text{t/m}^2$  b 29 m

Lapisan	H (m)	$e_0$	$C_c$	$\sigma'_0$ ( $\text{t/m}^2$ )	$\Delta\sigma$ ( $\text{t/m}^2$ )	$e_p$	$C_\alpha$	$t_1$ (tahun)	$t_2$ (tahun)	$C'_\alpha$	$S_s$ (m)	$\Sigma S_s$ (m)
1	1	3.966	1.514	0.611	9	2.153	0.087	0.5	20	0.02750	0.04406	0.044
2	1	3.966	1.514	1.834	9	2.797	0.087	0.5	20	0.02284	0.03659	0.081
3	1	3.966	1.514	2.557	9	2.973	0.087	0.5	20	0.02183	0.03497	0.116
4	1	3.966	1.514	2.779	9	3.016	0.087	0.5	20	0.02160	0.03460	0.150
5	1	3.966	1.514	3.002	9	3.055	0.087	0.5	20	0.02139	0.03427	0.184
6	1	3.966	1.514	3.224	8.984	3.090	0.087	0.5	20	0.02121	0.03397	0.218
7	1	5.313	2.282	3.465	8.974	4.047	0.032	0.5	20	0.00639	0.01023	0.229
8	1	5.313	2.282	3.724	8.961	4.099	0.032	0.5	20	0.00632	0.01013	0.239
9	1	5.313	2.282	3.983	8.943	4.147	0.032	0.5	20	0.00626	0.01003	0.249
10	1	5.313	2.282	4.242	8.923	4.191	0.032	0.5	20	0.00621	0.00995	0.259
11	1	2.939	1.674	4.560	8.897	2.152	0.031	0.5	20	0.00991	0.01587	0.275
12	1	2.939	1.674	4.935	8.868	2.191	0.031	0.5	20	0.00978	0.01568	0.290
13	1	2.939	1.674	5.311	8.835	2.226	0.031	0.5	20	0.00968	0.01550	0.306
14	1	2.939	1.674	5.686	8.797	2.259	0.031	0.5	20	0.00958	0.01535	0.321
15	1	2.939	1.674	6.062	8.755	2.289	0.031	0.5	20	0.00949	0.01521	0.336
16	1	2.939	1.674	6.438	8.708	2.317	0.031	0.5	20	0.00941	0.01508	0.351
17	1	4.992	3.016	6.733	8.658	3.909	0.029	0.5	20	0.00586	0.00938	0.361
18	1	4.992	3.016	6.948	8.604	3.936	0.029	0.5	20	0.00583	0.00933	0.370
19	1	4.992	3.016	7.163	8.546	3.963	0.029	0.5	20	0.00579	0.00928	0.379
20	1	4.992	3.016	7.378	8.485	3.989	0.029	0.5	20	0.00576	0.00923	0.389

Asumsi :

$\gamma_{\text{timbunan}}$  1.7 t/m<sup>3</sup> a 12.94 m

q 11 t/m<sup>2</sup> b 29 m

Lapisan	H (m)	$e_0$	$C_c$	$\sigma'_0$ (t/m <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$e_p$	$C_\alpha$	$t_1$ (tahun)	$t_2$ (tahun)	$C'_\alpha$	$S_s$ (m)	$\Sigma S_s$ (m)
1	1	3.966	1.514	0.611	11	2.029	0.087	0.5	20	0.02863	0.04587	0.046
2	1	3.966	1.514	1.834	11	2.686	0.087	0.5	20	0.02353	0.03770	0.084
3	1	3.966	1.514	2.557	11	2.868	0.087	0.5	20	0.02242	0.03592	0.119
4	1	3.966	1.514	2.779	11	2.913	0.087	0.5	20	0.02217	0.03551	0.155
5	1	3.966	1.514	3.002	11	2.953	0.087	0.5	20	0.02194	0.03515	0.190
6	1	3.966	1.514	3.224	10.982	2.990	0.087	0.5	20	0.02174	0.03482	0.225
7	1	5.313	2.282	3.465	10.971	3.899	0.032	0.5	20	0.00658	0.01054	0.236
8	1	5.313	2.282	3.724	10.955	3.954	0.032	0.5	20	0.00651	0.01042	0.246
9	1	5.313	2.282	3.983	10.936	4.004	0.032	0.5	20	0.00644	0.01032	0.256
10	1	5.313	2.282	4.242	10.912	4.051	0.032	0.5	20	0.00638	0.01022	0.266
11	1	2.939	1.674	4.560	10.884	2.052	0.031	0.5	20	0.01023	0.01639	0.283
12	1	2.939	1.674	4.935	10.851	2.093	0.031	0.5	20	0.01009	0.01617	0.299
13	1	2.939	1.674	5.311	10.813	2.131	0.031	0.5	20	0.00997	0.01597	0.315
14	1	2.939	1.674	5.686	10.769	2.166	0.031	0.5	20	0.00986	0.01580	0.331
15	1	2.939	1.674	6.062	10.721	2.198	0.031	0.5	20	0.00976	0.01564	0.346
16	1	2.939	1.674	6.438	10.669	2.228	0.031	0.5	20	0.00967	0.01549	0.362
17	1	4.992	3.016	6.733	10.611	3.752	0.029	0.5	20	0.00605	0.00969	0.372
18	1	4.992	3.016	6.948	10.549	3.782	0.029	0.5	20	0.00601	0.00963	0.381
19	1	4.992	3.016	7.163	10.483	3.811	0.029	0.5	20	0.00598	0.00958	0.391
20	1	4.992	3.016	7.378	10.412	3.839	0.029	0.5	20	0.00594	0.00952	0.400

## LAMPIRAN 5

### PERHITUNGAN PVD

#### a. Pola Segitiga

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segitiga</b>			
S	<b>100</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,05 \times S$	<b>105</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw) - 3/4$	<b>2.255</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

t (bulan)	$T_v$	$U_v$ (%)	x	$U_h$ (%)	$U_r$ (%)
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.25296	22.35027	23.21910
0.5	0.00020	1.58238	0.50592	39.70519	40.65928
0.75	0.00029	1.93801	0.75889	53.18124	54.08859
1	0.00039	2.23782	1.01185	63.64536	64.45891
1.25	0.00049	2.50196	1.26481	71.77072	72.47700
1.5	0.00059	2.74075	1.51777	78.08004	78.68081
1.75	0.00069	2.96035	1.77073	82.97921	83.48309
2	0.00079	3.16475	2.02370	86.78340	87.20167
2.25	0.00088	3.35673	2.27666	89.73735	90.08184
2.5	0.00098	3.53830	2.52962	92.03108	92.31304
2.75	0.00108	3.71100	2.78258	93.81215	94.04178
3	0.00118	3.87601	3.03555	95.19515	95.38139
3.25	0.00128	4.03428	3.28851	96.26905	96.41957
3.5	0.00138	4.18657	3.54147	97.10293	97.22422
3.75	0.00147	4.33351	3.79443	97.75043	97.84792
4	0.00157	4.47563	4.04739	98.25322	98.33140
4.25	0.00167	4.61338	4.30036	98.64363	98.70620
4.5	0.00177	4.74713	4.55332	98.94678	98.99678
4.75	0.00187	4.87721	4.80628	99.18218	99.22206
5	0.00197	5.00391	5.05924	99.36496	99.39674
5.25	0.00206	5.12748	5.31220	99.50690	99.53218
5.5	0.00216	5.24815	5.56517	99.61711	99.63720
5.75	0.00226	5.36610	5.81813	99.70268	99.71864
6	0.00236	5.48151	6.07109	99.76913	99.78179
6.25	0.00246	5.59454	6.32405	99.82073	99.83076
6.5	0.00256	5.70534	6.57701	99.86080	99.86874
6.75	0.00265	5.81402	6.82998	99.89191	99.89820
7	0.00275	5.92071	7.08294	99.91607	99.92104
7.25	0.00285	6.02551	7.33590	99.93483	99.93876
7.5	0.00295	6.12851	7.58886	99.94939	99.95250
7.75	0.00305	6.22982	7.84182	99.96070	99.96315
8	0.00314	6.32950	8.09479	99.96949	99.97142
8.25	0.00324	6.42764	8.34775	99.97631	99.97783
8.5	0.00334	6.52430	8.60071	99.98160	99.98280
8.75	0.00344	6.61955	8.85367	99.98571	99.98666
9	0.00354	6.71345	9.10664	99.98891	99.98965
9.25	0.00364	6.80605	9.35960	99.99139	99.99197
9.5	0.00373	6.89741	9.61256	99.99331	99.99377
9.75	0.00383	6.98758	9.86552	99.99481	99.99517
10	0.00393	7.07660	10.11848	99.99597	99.99625

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segitiga</b>			
S	<b>110</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,05 \times S$	<b>115.5</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw) - 3/4$	<b>2.351</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.20058	18.17463	19.09018
0.5	0.00020	1.58238	0.40117	33.04609	34.10555
0.75	0.00029	1.93801	0.60175	45.21471	46.27646
1	0.00039	2.23782	0.80233	55.17174	56.17491
1.25	0.00049	2.50196	1.00291	63.31911	64.23685
1.5	0.00059	2.74075	1.20350	69.98572	70.80834
1.75	0.00069	2.96035	1.40408	75.44071	76.16775
2	0.00079	3.16475	1.60466	79.90427	80.54025
2.25	0.00088	3.35673	1.80525	83.55659	84.10855
2.5	0.00098	3.53830	2.00583	86.54512	87.02120
2.75	0.00108	3.71100	2.20641	88.99050	89.39906
3	0.00118	3.87601	2.40699	90.99143	91.34061
3.25	0.00128	4.03428	2.60758	92.62871	92.92609
3.5	0.00138	4.18657	2.80816	93.96841	94.22093
3.75	0.00147	4.33351	3.00874	95.06463	95.27851
4	0.00157	4.47563	3.20933	95.96162	96.14236
4.25	0.00167	4.61338	3.40991	96.69558	96.84802
4.5	0.00177	4.74713	3.61049	97.29614	97.42450
4.75	0.00187	4.87721	3.81107	97.78756	97.89547
5	0.00197	5.00391	4.01166	98.18966	98.28025
5.25	0.00206	5.12748	4.21224	98.51868	98.59464
5.5	0.00216	5.24815	4.41282	98.78791	98.85152
5.75	0.00226	5.36610	4.61341	99.00820	99.06142
6	0.00236	5.48151	4.81399	99.18846	99.23294
6.25	0.00246	5.59454	5.01457	99.33595	99.37310
6.5	0.00256	5.70534	5.21515	99.45664	99.48764
6.75	0.00265	5.81402	5.41574	99.55539	99.58124
7	0.00275	5.92071	5.61632	99.63620	99.65774
7.25	0.00285	6.02551	5.81690	99.70232	99.72026
7.5	0.00295	6.12851	6.01749	99.75642	99.77135
7.75	0.00305	6.22982	6.21807	99.80069	99.81311
8	0.00314	6.32950	6.41865	99.83691	99.84724
8.25	0.00324	6.42764	6.61923	99.86655	99.87513
8.5	0.00334	6.52430	6.81982	99.89081	99.89793
8.75	0.00344	6.61955	7.02040	99.91065	99.91657
9	0.00354	6.71345	7.22098	99.92689	99.93180
9.25	0.00364	6.80605	7.42157	99.94018	99.94425
9.5	0.00373	6.89741	7.62215	99.95105	99.95443
9.75	0.00383	6.98758	7.82273	99.95995	99.96275
10	0.00393	7.07660	8.02331	99.96723	99.96955

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segitiga</b>			
S	<b>120</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,05 \times S$	<b>126</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw) - 3/4$	<b>2.438</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.16253	15.00086	15.95192
0.5	0.00020	1.58238	0.32506	27.75146	28.89471
0.75	0.00029	1.93801	0.48759	38.58937	39.77951
1	0.00039	2.23782	0.65012	47.80149	48.96960
1.25	0.00049	2.50196	0.81265	55.63172	56.74179
1.5	0.00059	2.74075	0.97517	62.28734	63.32095
1.75	0.00069	2.96035	1.13770	67.94456	68.89352
2	0.00079	3.16475	1.30023	72.75315	73.61545
2.25	0.00088	3.35673	1.46276	76.84042	77.61782
2.5	0.00098	3.53830	1.62529	80.31455	81.01108
2.75	0.00108	3.71100	1.78782	83.26754	83.88848
3	0.00118	3.87601	1.95035	85.77755	86.32882
3.25	0.00128	4.03428	2.11288	87.91104	88.39874
3.5	0.00138	4.18657	2.27541	89.72449	90.15468
3.75	0.00147	4.33351	2.43794	91.26590	91.64440
4	0.00157	4.47563	2.60046	92.57609	92.90836
4.25	0.00167	4.61338	2.76299	93.68974	93.98086
4.5	0.00177	4.74713	2.92552	94.63634	94.89096
4.75	0.00187	4.87721	3.08805	95.44093	95.66329
5	0.00197	5.00391	3.25058	96.12483	96.31874
5.25	0.00206	5.12748	3.41311	96.70614	96.87503
5.5	0.00216	5.24815	3.57564	97.20025	97.34718
5.75	0.00226	5.36610	3.73817	97.62023	97.74794
6	0.00236	5.48151	3.90070	97.97722	98.08810
6.25	0.00246	5.59454	4.06323	98.28065	98.37684
6.5	0.00256	5.70534	4.22576	98.53857	98.62195
6.75	0.00265	5.81402	4.38828	98.75780	98.83002
7	0.00275	5.92071	4.55081	98.94414	99.00665
7.25	0.00285	6.02551	4.71334	99.10253	99.15660
7.5	0.00295	6.12851	4.87587	99.23716	99.28391
7.75	0.00305	6.22982	5.03840	99.35159	99.39198
8	0.00314	6.32950	5.20093	99.44886	99.48374
8.25	0.00324	6.42764	5.36346	99.53153	99.56164
8.5	0.00334	6.52430	5.52599	99.60181	99.62779
8.75	0.00344	6.61955	5.68852	99.66154	99.68394
9	0.00354	6.71345	5.85105	99.71231	99.73163
9.25	0.00364	6.80605	6.01358	99.75547	99.77211
9.5	0.00373	6.89741	6.17610	99.79215	99.80649
9.75	0.00383	6.98758	6.33863	99.82333	99.83567
10	0.00393	7.07660	6.50116	99.84983	99.86046



$C_v$	<b>1.913</b>	m <sup>2</sup> /tahun	<b>0.000607</b>	cm <sup>2</sup> /sec
$C_h$	<b>3.826</b>	m <sup>2</sup> /tahun	<b>0.001213</b>	cm <sup>2</sup> /sec
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segitiga</b>			
S	<b>130</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
D = 1,05 X S	<b>136.5</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw)-3/4$	<b>2.518</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.13408	12.54829	13.52680
0.5	0.00020	1.58238	0.26817	23.52199	24.73216
0.75	0.00029	1.93801	0.40225	33.11868	34.41484
1	0.00039	2.23782	0.53633	41.51114	42.82002
1.25	0.00049	2.50196	0.67042	48.85050	50.13023
1.5	0.00059	2.74075	0.80450	55.26889	56.49486
1.75	0.00069	2.96035	0.93858	60.88188	62.03991
2	0.00079	3.16475	1.07267	65.79054	66.87318
2.25	0.00088	3.35673	1.20675	70.08324	71.08746
2.5	0.00098	3.53830	1.34083	73.83728	74.76300
2.75	0.00108	3.71100	1.47492	77.12026	77.96932
3	0.00118	3.87601	1.60900	79.99128	80.76682
3.25	0.00128	4.03428	1.74309	82.50203	83.20795
3.5	0.00138	4.18657	1.87717	84.69773	85.33837
3.75	0.00147	4.33351	2.01125	86.61790	87.19782
4	0.00157	4.47563	2.14534	88.29713	88.82090
4.25	0.00167	4.61338	2.27942	89.76564	90.23779
4.5	0.00177	4.74713	2.41350	91.04987	91.47475
4.75	0.00187	4.87721	2.54759	92.17296	92.55470
5	0.00197	5.00391	2.68167	93.15512	93.49763
5.25	0.00206	5.12748	2.81575	94.01404	94.32097
5.5	0.00216	5.24815	2.94984	94.76517	95.03991
5.75	0.00226	5.36610	3.08392	95.42206	95.66771
6	0.00236	5.48151	3.21800	95.99651	96.21596
6.25	0.00246	5.59454	3.35209	96.49888	96.69475
6.5	0.00256	5.70534	3.48617	96.93821	97.11290
6.75	0.00265	5.81402	3.62025	97.32241	97.47809
7	0.00275	5.92071	3.75434	97.65840	97.79704
7.25	0.00285	6.02551	3.88842	97.95223	98.07562
7.5	0.00295	6.12851	4.02250	98.20919	98.31894
7.75	0.00305	6.22982	4.15659	98.43391	98.53147
8	0.00314	6.32950	4.29067	98.63043	98.71711
8.25	0.00324	6.42764	4.42475	98.80229	98.87927
8.5	0.00334	6.52430	4.55884	98.95258	99.02092
8.75	0.00344	6.61955	4.69292	99.08401	99.14465
9	0.00354	6.71345	4.82701	99.19895	99.25273
9.25	0.00364	6.80605	4.96109	99.29947	99.34715
9.5	0.00373	6.89741	5.09517	99.38737	99.42963
9.75	0.00383	6.98758	5.22926	99.46425	99.50168
10	0.00393	7.07660	5.36334	99.53148	99.56463

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segitiga</b>			
S	<b>140</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,05 \times S$	<b>147</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw)-3/4$	<b>2.592</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.11231	10.62302	11.62307
0.5	0.00020	1.58238	0.22461	20.11755	21.38159
0.75	0.00029	1.93801	0.33692	28.60348	29.98715
1	0.00039	2.23782	0.44923	36.18795	37.61594
1.25	0.00049	2.50196	0.56154	42.96671	44.39366
1.5	0.00059	2.74075	0.67384	49.02537	50.42246
1.75	0.00069	2.96035	0.78615	54.44041	55.78914
2	0.00079	3.16475	0.89846	59.28022	60.56890
2.25	0.00088	3.35673	1.01076	63.60589	64.82754
2.5	0.00098	3.53830	1.12307	67.47204	68.62298
2.75	0.00108	3.71100	1.23538	70.92749	72.00637
3	0.00118	3.87601	1.34768	74.01587	75.02302
3.25	0.00128	4.03428	1.45999	76.77617	77.71308
3.5	0.00138	4.18657	1.57230	79.24324	80.11224
3.75	0.00147	4.33351	1.68461	81.44824	82.25218
4	0.00157	4.47563	1.79691	83.41899	84.16110
4.25	0.00167	4.61338	1.90922	85.18040	85.86408
4.5	0.00177	4.74713	2.02153	86.75469	87.38346
4.75	0.00187	4.87721	2.13383	88.16174	88.73911
5	0.00197	5.00391	2.24614	89.41932	89.94877
5.25	0.00206	5.12748	2.35845	90.54331	91.02820
5.5	0.00216	5.24815	2.47075	91.54789	91.99147
5.75	0.00226	5.36610	2.58306	92.44576	92.85113
6	0.00236	5.48151	2.69537	93.24825	93.61835
6.25	0.00246	5.59454	2.80768	93.96549	94.30309
6.5	0.00256	5.70534	2.91998	94.60654	94.91425
6.75	0.00265	5.81402	3.03229	95.17949	95.45975
7	0.00275	5.92071	3.14460	95.69157	95.94666
7.25	0.00285	6.02551	3.25690	96.14925	96.38128
7.5	0.00295	6.12851	3.36921	96.55832	96.76924
7.75	0.00305	6.22982	3.48152	96.92393	97.11556
8	0.00314	6.32950	3.59382	97.25070	97.42472
8.25	0.00324	6.42764	3.70613	97.54276	97.70070
8.5	0.00334	6.52430	3.81844	97.80379	97.94708
8.75	0.00344	6.61955	3.93075	98.03710	98.16703
9	0.00354	6.71345	4.04305	98.24562	98.36340
9.25	0.00364	6.80605	4.15536	98.43198	98.53870
9.5	0.00373	6.89741	4.26767	98.59856	98.69522
9.75	0.00383	6.98758	4.37997	98.74743	98.83496
10	0.00393	7.07660	4.49228	98.88049	98.95971

## b. Pola Segiempat

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segiempat</b>			
S	<b>100</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
D = 1,13 X S	<b>113</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw) - 3/4$	<b>2.329</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

t (bulan)	$T_v$	$U_v$ (%)	x	$U_h$ (%)	$U_r$ (%)
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.21153	19.06514	19.97073
0.5	0.00020	1.58238	0.42305	34.49548	35.53201
0.75	0.00029	1.93801	0.63458	46.98401	48.01146
1	0.00039	2.23782	0.84610	57.09158	58.05179
1.25	0.00049	2.50196	1.05763	65.27213	66.14101
1.5	0.00059	2.74075	1.26915	71.89305	72.66339
1.75	0.00069	2.96035	1.48068	77.25168	77.92511
2	0.00079	3.16475	1.69220	81.58868	82.17135
2.25	0.00088	3.35673	1.90373	85.09882	85.59901
2.5	0.00098	3.53830	2.11526	87.93975	88.36648
2.75	0.00108	3.71100	2.32678	90.23905	90.60128
3	0.00118	3.87601	2.53831	92.09999	92.40620
3.25	0.00128	4.03428	2.74983	93.60614	93.86409
3.5	0.00138	4.18657	2.96136	94.82514	95.04179
3.75	0.00147	4.33351	3.17288	95.81173	95.99323
4	0.00157	4.47563	3.38441	96.61023	96.76195
4.25	0.00167	4.61338	3.59593	97.25650	97.38306
4.5	0.00177	4.74713	3.80746	97.77955	97.88496
4.75	0.00187	4.87721	4.01899	98.20288	98.29053
5	0.00197	5.00391	4.23051	98.54550	98.61829
5.25	0.00206	5.12748	4.44204	98.82281	98.88317
5.5	0.00216	5.24815	4.65356	99.04724	99.09724
5.75	0.00226	5.36610	4.86509	99.22888	99.27026
6	0.00236	5.48151	5.07661	99.37590	99.41011
6.25	0.00246	5.59454	5.28814	99.49488	99.52314
6.5	0.00256	5.70534	5.49966	99.59119	99.61451
6.75	0.00265	5.81402	5.71119	99.66913	99.68836
7	0.00275	5.92071	5.92272	99.73221	99.74806
7.25	0.00285	6.02551	6.13424	99.78326	99.79632
7.5	0.00295	6.12851	6.34577	99.82458	99.83533
7.75	0.00305	6.22982	6.55729	99.85803	99.86687
8	0.00314	6.32950	6.76882	99.88509	99.89237
8.25	0.00324	6.42764	6.98034	99.90700	99.91298
8.5	0.00334	6.52430	7.19187	99.92473	99.92964
8.75	0.00344	6.61955	7.40339	99.93908	99.94311
9	0.00354	6.71345	7.61492	99.95070	99.95401
9.25	0.00364	6.80605	7.82645	99.96010	99.96281
9.5	0.00373	6.89741	8.03797	99.96770	99.96993
9.75	0.00383	6.98758	8.24950	99.97386	99.97569
10	0.00393	7.07660	8.46102	99.97884	99.98034

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segiempat</b>			
S	<b>110</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,13 \times S$	<b>124.3</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw) - 3/4$	<b>2.424</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.16794	15.45963	16.40556
0.5	0.00020	1.58238	0.33588	28.52926	29.66019
0.75	0.00029	1.93801	0.50382	39.57837	40.74934
1	0.00039	2.23782	0.67176	48.91933	50.06242
1.25	0.00049	2.50196	0.83971	56.81621	57.89665
1.5	0.00059	2.74075	1.00765	63.49227	64.49285
1.75	0.00069	2.96035	1.17559	69.13623	70.04990
2	0.00079	3.16475	1.34353	73.90765	74.73341
2.25	0.00088	3.35673	1.51147	77.94143	78.68188
2.5	0.00098	3.53830	1.67941	81.35161	82.01144
2.75	0.00108	3.71100	1.84735	84.23458	84.81963
3	0.00118	3.87601	2.01529	86.67185	87.18845
3.25	0.00128	4.03428	2.18323	88.73234	89.18691
3.5	0.00138	4.18657	2.35117	90.47428	90.87308
3.75	0.00147	4.33351	2.51912	91.94692	92.29590
4	0.00157	4.47563	2.68706	93.19189	93.49660
4.25	0.00167	4.61338	2.85500	94.24440	94.50993
4.5	0.00177	4.74713	3.02294	95.13420	95.36518
4.75	0.00187	4.87721	3.19088	95.88643	96.08706
5	0.00197	5.00391	3.35882	96.52237	96.69639
5.25	0.00206	5.12748	3.52676	97.06000	97.21075
5.5	0.00216	5.24815	3.69470	97.51451	97.64496
5.75	0.00226	5.36610	3.86264	97.89876	98.01152
6	0.00236	5.48151	4.03058	98.22361	98.32098
6.25	0.00246	5.59454	4.19853	98.49823	98.58225
6.5	0.00256	5.70534	4.36647	98.73040	98.80283
6.75	0.00265	5.81402	4.53441	98.92667	98.98908
7	0.00275	5.92071	4.70235	99.09261	99.14633
7.25	0.00285	6.02551	4.87029	99.23289	99.27911
7.5	0.00295	6.12851	5.03823	99.35148	99.39122
7.75	0.00305	6.22982	5.20617	99.45174	99.48589
8	0.00314	6.32950	5.37411	99.53650	99.56583
8.25	0.00324	6.42764	5.54205	99.60815	99.63334
8.5	0.00334	6.52430	5.70999	99.66873	99.69034
8.75	0.00344	6.61955	5.87794	99.71994	99.73848
9	0.00354	6.71345	6.04588	99.76324	99.77913
9.25	0.00364	6.80605	6.21382	99.79984	99.81346
9.5	0.00373	6.89741	6.38176	99.83079	99.84246
9.75	0.00383	6.98758	6.54970	99.85695	99.86694
10	0.00393	7.07660	6.71764	99.87906	99.88762

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segiempat</b>			
S	<b>120</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,13 \times S$	<b>135.6</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw) - 3/4$	<b>2.511</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.13623	12.73557	13.71197
0.5	0.00020	1.58238	0.27245	23.84918	25.05418
0.75	0.00029	1.93801	0.40868	33.54742	34.83528
1	0.00039	2.23782	0.54491	42.01053	43.30823
1.25	0.00049	2.50196	0.68114	49.39582	50.66191
1.5	0.00059	2.74075	0.81736	55.84055	57.05085
1.75	0.00069	2.96035	0.95359	61.46450	62.60529
2	0.00079	3.16475	1.08982	66.37222	67.43645
2.25	0.00088	3.35673	1.22604	70.65491	71.63994
2.5	0.00098	3.53830	1.36227	74.39217	75.29825
2.75	0.00108	3.71100	1.49850	77.65347	78.48275
3	0.00118	3.87601	1.63473	80.49943	81.25527
3.25	0.00128	4.03428	1.77095	82.98294	83.66945
3.5	0.00138	4.18657	1.90718	85.15016	85.77185
3.75	0.00147	4.33351	2.04341	87.04137	87.60293
4	0.00157	4.47563	2.17964	88.69172	89.19784
4.25	0.00167	4.61338	2.31586	90.13190	90.58715
4.5	0.00177	4.74713	2.45209	91.38865	91.79745
4.75	0.00187	4.87721	2.58832	92.48536	92.85186
5	0.00197	5.00391	2.72454	93.44239	93.77053
5.25	0.00206	5.12748	2.86077	94.27754	94.57096
5.5	0.00216	5.24815	2.99700	95.00633	95.26840
5.75	0.00226	5.36610	3.13323	95.64230	95.87614
6	0.00236	5.48151	3.26945	96.19728	96.40572
6.25	0.00246	5.59454	3.40568	96.68158	96.86723
6.5	0.00256	5.70534	3.54191	97.10420	97.26941
6.75	0.00265	5.81402	3.67813	97.47299	97.61991
7	0.00275	5.92071	3.81436	97.79482	97.92538
7.25	0.00285	6.02551	3.95059	98.07566	98.19161
7.5	0.00295	6.12851	4.08682	98.32074	98.42365
7.75	0.00305	6.22982	4.22304	98.53460	98.62589
8	0.00314	6.32950	4.35927	98.72123	98.80217
8.25	0.00324	6.42764	4.49550	98.88409	98.95581
8.5	0.00334	6.52430	4.63172	99.02621	99.08974
8.75	0.00344	6.61955	4.76795	99.15022	99.20647
9	0.00354	6.71345	4.90418	99.25845	99.30823
9.25	0.00364	6.80605	5.04041	99.35289	99.39693
9.5	0.00373	6.89741	5.17663	99.43530	99.47425
9.75	0.00383	6.98758	5.31286	99.50722	99.54165
10	0.00393	7.07660	5.44909	99.56998	99.60041

$C_v$	<b>1.913</b>	$m^2/tahun$	<b>0.000607</b>	$cm^2/sec$
$C_h$	<b>3.826</b>	$m^2/tahun$	<b>0.001213</b>	$cm^2/sec$
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segiempat</b>			
S	<b>130</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,13 \times S$	<b>146.9</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw)-3/4$	<b>2.591</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.11249	10.63933	11.63919
0.5	0.00020	1.58238	0.22498	20.14670	21.41028
0.75	0.00029	1.93801	0.33747	28.64256	30.02547
1	0.00039	2.23782	0.44996	36.23451	37.66146
1.25	0.00049	2.50196	0.56245	43.01873	44.44437
1.5	0.00059	2.74075	0.67494	49.08115	50.47671
1.75	0.00069	2.96035	0.78743	54.49858	55.84558
2	0.00079	3.16475	0.89992	59.33962	60.62642
2.25	0.00088	3.35673	1.01241	63.66561	64.88526
2.5	0.00098	3.53830	1.12490	67.53135	68.68019
2.75	0.00108	3.71100	1.23738	70.98579	72.06251
3	0.00118	3.87601	1.34987	74.07271	75.07766
3.25	0.00128	4.03428	1.46236	76.83120	77.76589
3.5	0.00138	4.18657	1.57485	79.29620	80.16298
3.75	0.00147	4.33351	1.68734	81.49895	82.30069
4	0.00157	4.47563	1.79983	83.46734	84.20728
4.25	0.00167	4.61338	1.91232	85.22630	85.90787
4.5	0.00177	4.74713	2.02481	86.79812	87.42483
4.75	0.00187	4.87721	2.13730	88.20271	88.77809
5	0.00197	5.00391	2.24979	89.45787	89.98538
5.25	0.00206	5.12748	2.36228	90.57948	91.06251
5.5	0.00216	5.24815	2.47477	91.58176	92.02356
5.75	0.00226	5.36610	2.58726	92.47740	92.88107
6	0.00236	5.48151	2.69975	93.27776	93.64624
6.25	0.00246	5.59454	2.81224	93.99296	94.32902
6.5	0.00256	5.70534	2.92473	94.63207	94.93833
6.75	0.00265	5.81402	3.03722	95.20318	95.48207
7	0.00275	5.92071	3.14971	95.71353	95.96732
7.25	0.00285	6.02551	3.26220	96.16958	96.40038
7.5	0.00295	6.12851	3.37469	96.57711	96.78688
7.75	0.00305	6.22982	3.48717	96.94128	97.13184
8	0.00314	6.32950	3.59966	97.26671	97.43971
8.25	0.00324	6.42764	3.71215	97.55751	97.71451
8.5	0.00334	6.52430	3.82464	97.81738	97.95978
8.75	0.00344	6.61955	3.93713	98.04959	98.17870
9	0.00354	6.71345	4.04962	98.25710	98.37411
9.25	0.00364	6.80605	4.16211	98.44254	98.54854
9.5	0.00373	6.89741	4.27460	98.60824	98.70424
9.75	0.00383	6.98758	4.38709	98.75631	98.84322
10	0.00393	7.07660	4.49958	98.88863	98.96728

$C_v$	<b>1.913</b>	m <sup>2</sup> /tahun	<b>0.000607</b>	cm <sup>2</sup> /sec
$C_h$	<b>3.826</b>	m <sup>2</sup> /tahun	<b>0.001213</b>	cm <sup>2</sup> /sec
<b>DESIGN OF PVD</b>				
Pola	<b>Segiempat</b>			
S	<b>140</b>	cm	$H_{dr}$	<b>2000</b> cm
$D = 1,13 \times S$	<b>158.2</b>	cm		
a	<b>10</b>	cm		
b	<b>0.4</b>	cm		
$d_w = 1/2 (a+b)$	<b>5.2</b>	cm		
$F(n) = \ln (D/dw)-3/4$	<b>2.665</b>			

**Table Average Degree of Consolidation**

<b>t (bulan)</b>	<b><math>T_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (%)</b>	<b>x</b>	<b><math>U_h</math> (%)</b>	<b><math>U_r</math> (%)</b>
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.25	0.00010	1.11891	0.09430	8.99871	10.01693
0.5	0.00020	1.58238	0.18859	17.18766	18.49806
0.75	0.00029	1.93801	0.28289	24.63970	26.10019
1	0.00039	2.23782	0.37719	31.42116	32.95583
1.25	0.00049	2.50196	0.47148	37.59237	39.15378
1.5	0.00059	2.74075	0.56578	43.20825	44.76477
1.75	0.00069	2.96035	0.66008	48.31878	49.84872
2	0.00079	3.16475	0.75437	52.96942	54.45782
2.25	0.00088	3.35673	0.84867	57.20157	58.63819
2.5	0.00098	3.53830	0.94297	61.05288	62.43094
2.75	0.00108	3.71100	1.03726	64.55762	65.87288
3	0.00118	3.87601	1.13156	67.74697	68.99711
3.25	0.00128	4.03428	1.22585	70.64933	71.83342
3.5	0.00138	4.18657	1.32015	73.29051	74.40872
3.75	0.00147	4.33351	1.41445	75.69402	76.74733
4	0.00157	4.47563	1.50874	77.88125	78.87120
4.25	0.00167	4.61338	1.60304	79.87165	80.80025
4.5	0.00177	4.74713	1.69734	81.68294	82.55248
4.75	0.00187	4.87721	1.79163	83.33124	84.14421
5	0.00197	5.00391	1.88593	84.83122	85.59025
5.25	0.00206	5.12748	1.98023	86.19621	86.90400
5.5	0.00216	5.24815	2.07452	87.43837	88.09763
5.75	0.00226	5.36610	2.16882	88.56876	89.18217
6	0.00236	5.48151	2.26312	89.59742	90.16764
6.25	0.00246	5.59454	2.35741	90.53352	91.06313
6.5	0.00256	5.70534	2.45171	91.38538	91.87688
6.75	0.00265	5.81402	2.54601	92.16059	92.61637
7	0.00275	5.92071	2.64030	92.86603	93.28841
7.25	0.00285	6.02551	2.73460	93.50800	93.89917
7.5	0.00295	6.12851	2.82890	94.09219	94.45426
7.75	0.00305	6.22982	2.92319	94.62382	94.95875
8	0.00314	6.32950	3.01749	95.10761	95.41727
8.25	0.00324	6.42764	3.11179	95.54786	95.83403
8.5	0.00334	6.52430	3.20608	95.94850	96.21283
8.75	0.00344	6.61955	3.30038	96.31308	96.55714
9	0.00354	6.71345	3.39467	96.64485	96.87010
9.25	0.00364	6.80605	3.48897	96.94677	97.15458
9.5	0.00373	6.89741	3.58327	97.22153	97.41317
9.75	0.00383	6.98758	3.67756	97.47155	97.64823
10	0.00393	7.07660	3.77186	97.69908	97.86191

## **BIODATA PENULIS**



Azmi Lisani Wahyu,

Penulis dilahirkan di Surabaya, 3 Juni 1994, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Islam Mutiara Surabaya, SD Muhammadiyah 4 Surabaya, SMP Negeri 12 Surabaya, dan SMA Negeri 15 Surabaya. Pada tahun 2012, penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan lulus pada tahun 2016. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana di Jurusan Teknik Sipil ITS, bidang keahlian geoteknik. Penulis dapat dihubungi melalui [azmilisaniwahyu@gmail.com](mailto:azmilisaniwahyu@gmail.com).